

和 11 月  
年

昭和 22 年 8 月 26 日  
第三種郵便物認可

昭和 35 年 10 月 26 日 印刷  
昭和 35 年 11 月 1 日 発行

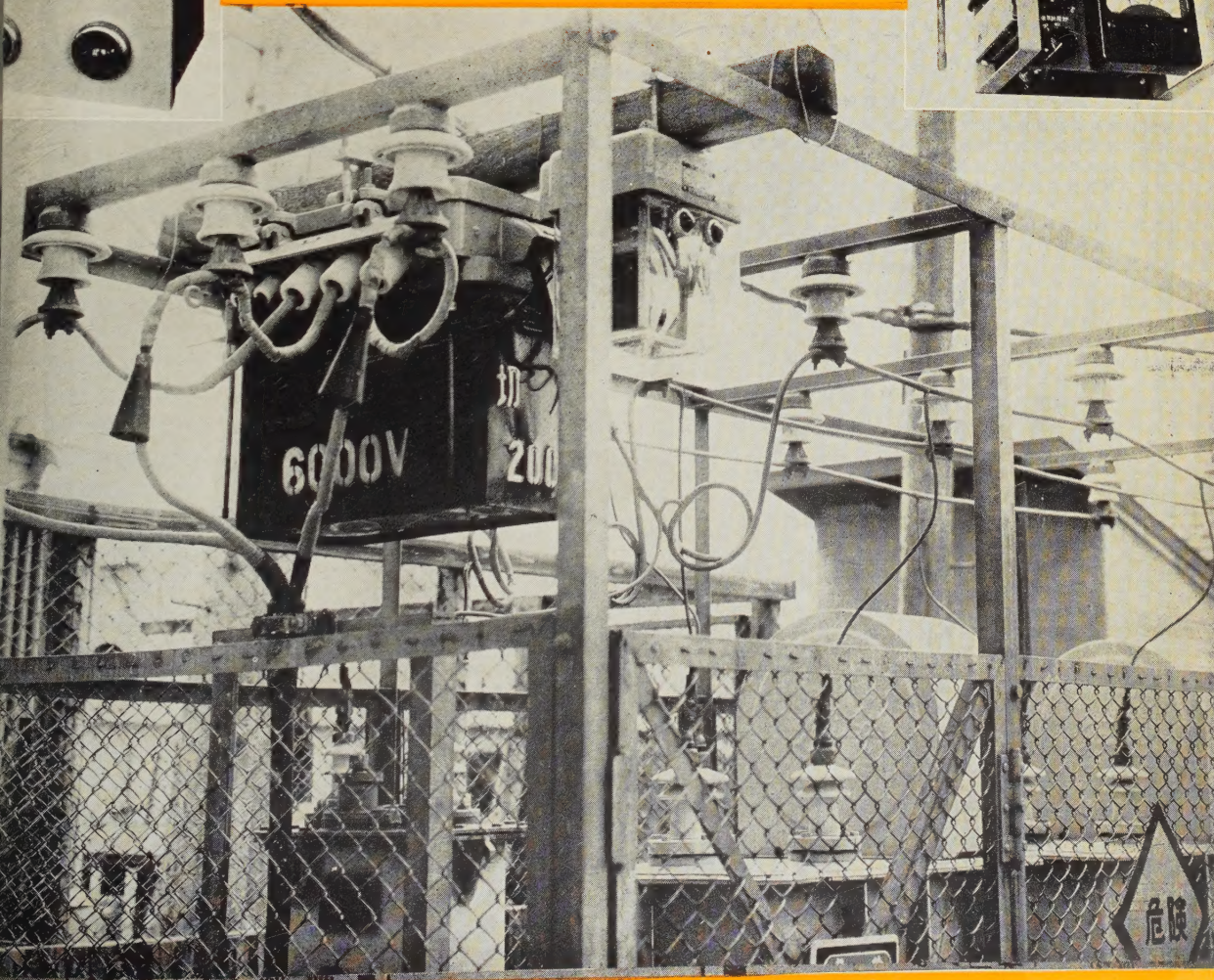
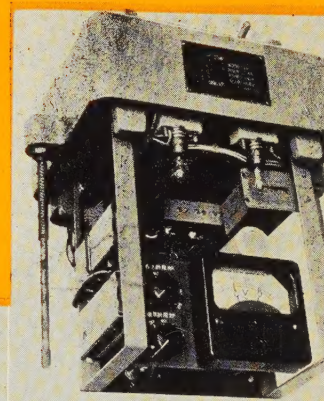
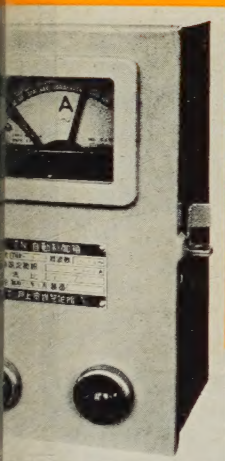
毎月 1 回  
1 日 発行

# 電 気 学 会 雑 誌

*The Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan*

*November 1960*

九州電力株式会社納入  
電力用コンデンサ自動制御装置  
(株式会社戸上電機製作所製)



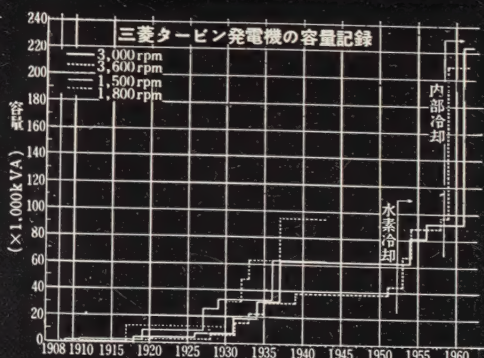
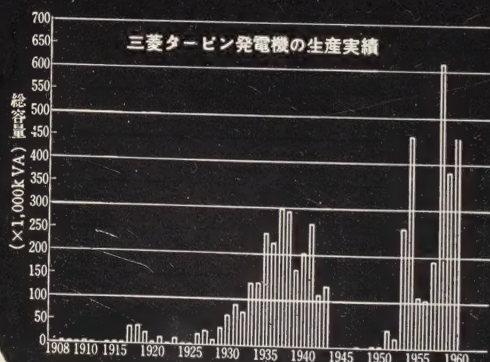
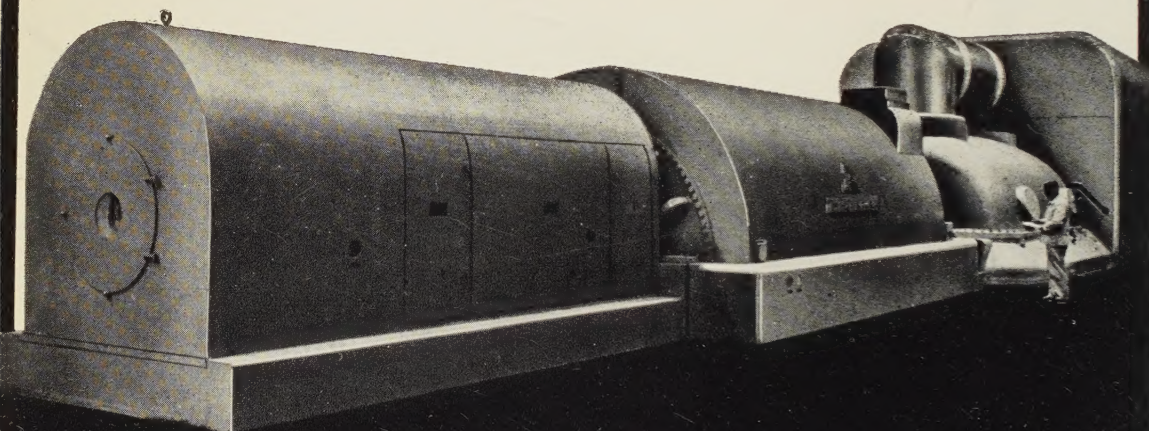


# 輝かしい成果

三菱電機がタービン発電機の製作に着手し 国産第1号の 625 kVA 機を完成したのが1908年……以来幾多のすぐれた設備と多年の経験による最高の技術を駆使して 実に 325台 5,616,223 kVA という驚異的な実績を納めています

## 三菱電機のタービン発電機

関西電力大阪発電所納 東洋最大容量208,696 kVA  
内部冷却タービン発電機



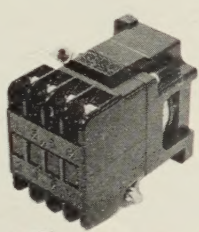
三菱電機株式会社



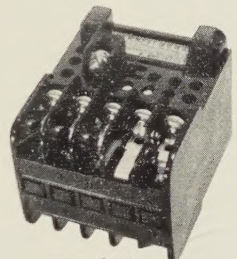
# 0 から 10 まで ズラリ

量産のベルトにのった  
オートメーションの新しい主役！

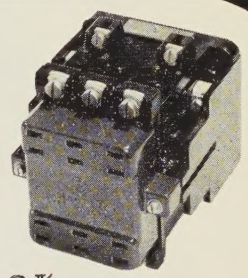
富士電機製造株式会社



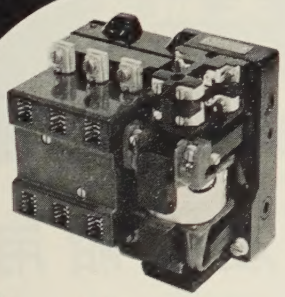
0 形



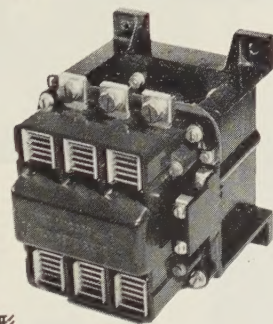
5-1 形



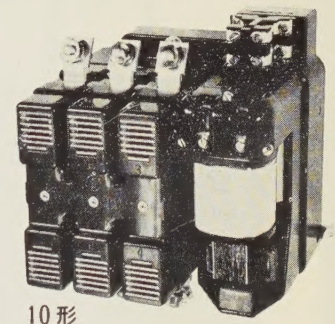
2 形



4 形



6 形



10 形

550 V, 100 kW (140 HP) までのモ  
ータルの遠方操作と 550 V, 200 A  
までのあらゆる回路の制御に

## 富士電磁接触器

RC3631 シリーズ

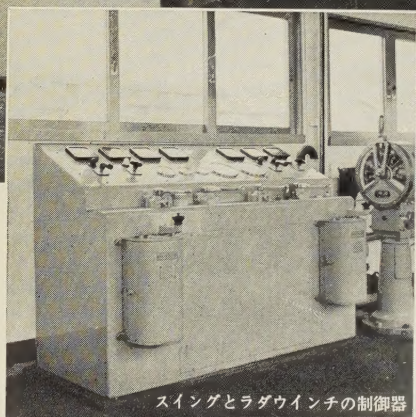
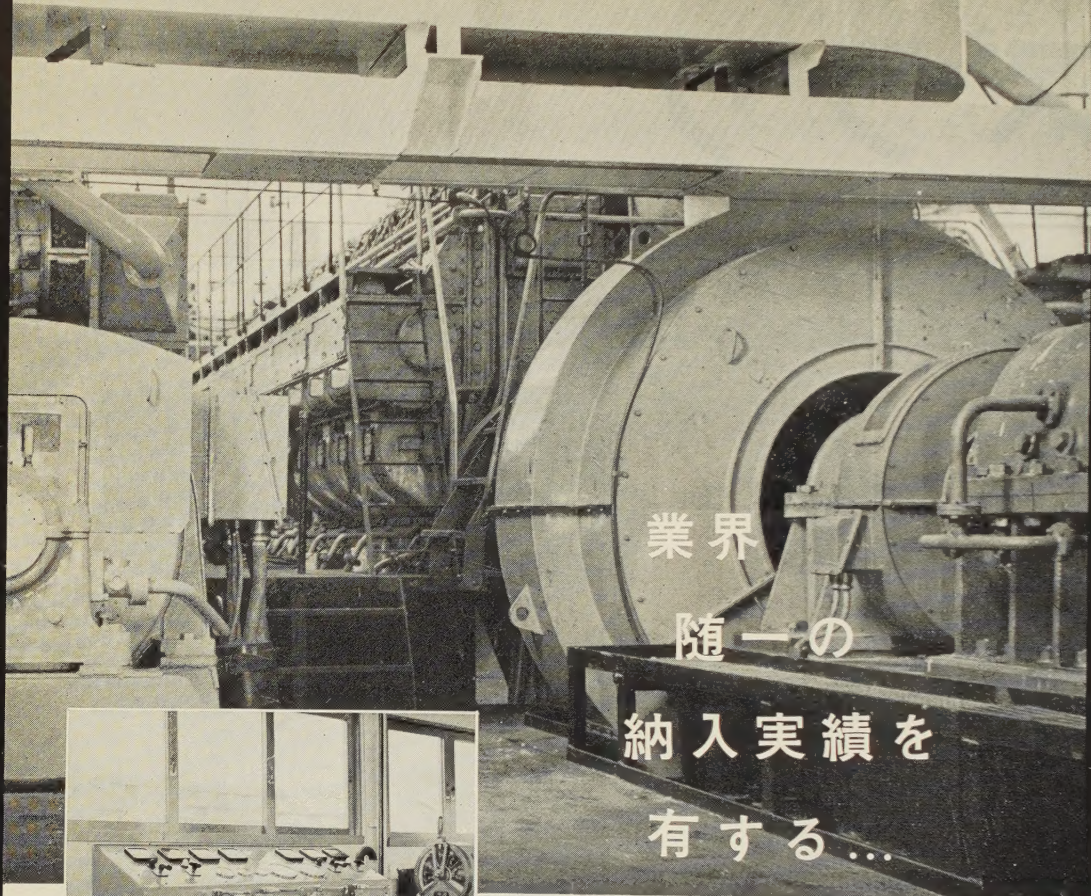
仕 様					電 流	補助 接触子 (標準)
形 式	定 格 容 量					
	カゴ形モートル kW (HP)					
	110V	220V	440V	550V		
ゼロ形	0.55	1.1 (1.5)	—	—	6	1Aまたは1B
5-1形	1.9 (2.5)	3.7 (5)	3 (4)	2.2 (3)	16	1A1B
2形	3 (4)	5.5 (7.5)	7.5 (10)	7.5 (10)	25	2A2B
4形	5.5 (7.5)	11 (15)	22 (30)	28 (37)	50	2A2B
6形	10 (14)	20 (27)	30 (40)	37 (50)	75	2A2B
10形	20 (27)	40 (54)	80 (107)	100 (140)	200	2A2B

- ① 超小形・軽量
- ② 最高性能 JIS A-1-1-1
- ③ 長寿命 一、〇〇万回以上
- ④ ひん繁開閉 毎時一、〇〇回
- ⑤ 保守点検が容易

すぐれた特長



右側がポンプ駆動用エンジンと 4,000HP電磁接手、左側は主発電機



スイングとラダウインチの制御器

## 明電舎浚渫船用 電気機器

最近全国各地の港湾で、国土開発の一翼をになって目ざましい活躍をしている浚渫船には、当社の60余年の経験と技術を生かして製作された多数の電気機器が使用されております。

その納入実績は、その台数、性能ともに業界随一を誇っております。このたび完成しました森田臨海工業浚渫船「臨海第八号」は、浚渫能力東洋一という大きなものですが、当社の4,000HP電磁接手をはじめ、発電機など各種電気機器が設備されております。



株式  
会社

明 電 舎



# 電 気 学 会 雑 誌

昭和 35 年 11 月

第 80 卷 第 11 冊 第 866 号

## 本号のみどころ

会費納入について、通俗講演会、最近の半導体装置とその応用専門講習会予告、諸行事こよみ、出版案内の会告がある。(前 4)

直流増幅器を対象とした振幅差変調法の研究 点対象な非線形素子をパルス形搬送波で駆動することにより極性判別を与える方式の、直流増幅器用直流交流変換素子について述べた論文である。(1579 ページ)

土星形電極の静電容量の近似式 球と円環を電極とするいわゆる土星形電極の静電容量について近似解を求め、比較の数値計算も簡単な式を求め実験値により確かめたもの。(1587 ページ)

静電変圧機の移動誘電体板上の電位分布について 静電変圧機の回転誘電体板上に現われる電位分布の脈動性と電極ブラシ電流について述べたもので、電位分布の脈動性の起きる原因について実験と考察を行い、脈動性を少なくする方法を述べている。(1590 ページ)

多数決原理によるブール代数の展開について ブール代数の公準を多数決表示することによって、論理和、論理積と多数決演算の関係を導き、ブール代数は多数決代数であることを明らかにし、いくつかの定理を誘導した。(1600 ページ)

BF<sub>3</sub> 比例計数管の放電および計数特性 中性子を計数する BF<sub>3</sub> 比例計数管を試作し、その電流電圧、気体増幅度特性および計数率特性を測定して、その動作機構を放電の電離機構と関連させて説明し、あわせて不純ガスの影響について負イオン形成による計数損失の立場から実験的、定量的な考察を行っている。(1606 ページ)

サイラトロン増幅器による直流他励電動機速度制御 直流電動機の電源としてサイラトロン制御回路にフェノトロンを付加し、かつ電機子回路に直列にリアクトルを入れれば、電動機速度および負荷電流に影響なく増幅電圧が一定になるので、信号に追従した直流電動機速度制御が可能になることを述べたもの。(1615 ページ)

非接地系電源端における線路充電電流しゃ断現象と開閉異常電圧 消弧、再発弧のシーケンスを多数の現場試験記録について整理検討するとともに、三相回路としてのしゃ断現象を理論的に解析したもの。(1620 ページ)

パルス放電より定常グローへの転移 ギャップの放電破壊からパルス放電を経て定常グローへ移る現象に関する一連の研究の中の一つで、今回はさらにグローを伴うパルスとそれから定常グローへ移行する現象をギャップ 1 cm、気圧 10 mmHg、直径 7 cm の銅板対針について広範な実験と詳細な検討を行っている。(1630 ページ)

絶縁試験における交流電流法の電圧-電流特性に関する一考察 発電機撤去コイルについて交流電流法の電圧-電流特性を調べ、その曲線中における電流急増点の存在は放電開始電圧の揃った均一な空気層(ボイド)が絶縁層に含まれる場合に生ずることを明らかにしている。(1636 ページ)

磁気増幅器式電流相似形演算器 現在アナログ計算機はほとんど電圧相似の電子管方式であるが、著者の創案になる特殊の回路で電流相似にすれば全磁気増幅器で構成することができるとを理論的、実験的に確認し提案している。(1645 ページ)

角形ヒステリシス特性を有するテープ巻磁心のヒステリシス曲線の異常現象 角形ヒステリシス特性を有する 50 % ニッケルパーマロイについて、種々の不均一欠陥によってヒステリシス曲線の急しゅんな側部に異常が起きることを実験的に示した。(1655 ページ)

遅延帰還の非線形理論(続報) 飽和を含む系の Asynchronous quenching による自励振の抑制機構を記述、関数と位相面から解析したもの。(1660 ページ)

原子単位 精度の高い基本単位の必要に応じ今日検討されている Atomic meter, Atomic second, Atomic amper の動向について解説し、この原子単位の背景となっている物理定数の測定値について概説している。

(技術綜説 1668 ページ)

誘電加熱の最近の応用 誘電加熱の技術的問題を解説し、その応用として乾燥、接着および食料品の加工について概説している。(技術綜説 1675 ページ)

太陽エネルギーの利用 太陽エネルギーの利用方法としての温水、蒸留、冷蔵、暖冷房および動力の現況について、具体例を引用して概説したもの。(講演 1687 ページ)

特別高圧がいし装置推奨案(要旨) 特別高圧送電線用がいし装置あるいは架線金具については目下規格が不備のため種々のものが使用されている。互換性、経済性の点から各方面より金具種類の単純化が要望され、今回推奨案が作成された。(報告 1695 ページ)



## 資料・論文

直流増幅器を対象とした振幅差変調法の研究 .....	阿部善右衛門・桜井 彰	1579
土星形電極の静電容量の近似式 .....	相川 孝作	1587
静電変圧機の移動誘電体板上の電位分布について .....	城阪 俊吉	1590
多数決原理によるブール代数の展開について .....	安宅彦三郎	1600
BF <sub>3</sub> 比例計数管の放電および計数特性 .....	山根 幹也	1606
サイラトロン増幅器による直流他励電動機速度制御 .....	石崎 長光	1615
非接地系電源端における線路充電電流しゃ断現象と開閉異常電圧 .....	鬼頭 幸生	1620
パルス放電より定常グローへの転移 .....	野本 尚敬・三好 昭一	1630
絶縁試験における交流電流法の電圧-電流特性に関する一考察 .....	家田 正之	1636
磁気増幅器式電流相似形演算器(演算形磁気増幅器) .....	黒川 一夫	1645
角形ヒステリシス特性を有するテープ巻磁心のヒステリシス曲線の異常現象 .....	佐藤 義信	1655
遅延帰還の非線形理論(統報) .....	松原 正一	1660

## 技術 綜 説

原子単位 .....	原 宏	1668
誘電加熱の最近の応用 .....	篠原 卯吉・大島 重威	1675

## 製 品 紹 介

古河テトロンガラス巻銅線 .....	古河電気工業株式会社	1683
各種ゴムモールド付ケーブル .....	昭和電線電纜株式会社	1684
リードセレクトアとリードリレーの高効率測定器 .....	安藤電気株式会社	1686

## 講 演

太陽エネルギーの利用 .....	三井 寿雄	1687
------------------	-------	------

## 報 告

特別高圧がいし装置推奨案(要旨) .....	送電専門委員会	1695
------------------------	---------	------

## 学 界 時 報

特 許 紹 介 .....		1697
---------------	--	------

## ニ ュ ー ス

本 会 記 事 .....		1724
---------------	--	------

## 調 査 委 員 会 記 事

ニ ュ ー ス .....		1728
---------------	--	------

## 求 人 ・ 求 職

本 会 記 事 .....		1735
---------------	--	------

## 会 告

調 査 委 員 会 記 事 .....		1737
---------------------	--	------

求 人 ・ 求 職 .....		1743
-----------------	--	------

会 告 .....		1614
-----------	--	------

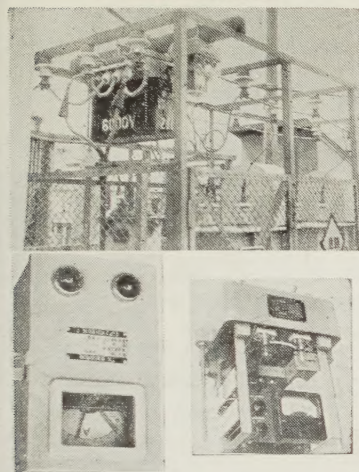
告[会費納入についてお願い、通俗講演会、最近の半導体装置とその応用専門講習会予告、諸行事こよみ、出版案内] .....		(前)
---	--	-----

## 電 気 学 会 雑 誌 へ の 寄 稿 注 意

- 寄稿者は原則として本会会員に限る。
- 本会所定の原稿用紙に「電気学会雑誌寄稿のしおり」に基づいて執筆のこと。これらは申込み次第送付する。
- 寄稿の種類
  - 資料・論文(長さは刷上り10ページ以内、英文要旨付)  
(雑誌1ページは本会原稿用紙で6枚)  
学術および技術に寄与する新しい研究成果
  - 誌上討論(長さは原則として刷上り1ページ以内)  
本会誌に掲載された事項に関する討論およびそれに対する原著者の回答
  - 寄書(長さは原則として刷上り2ページ以内)  
学術又は技術に関して、会員一般の関心を促すための意見、本会の事業および動向に対する批判、意見等
- 3・4 会員の声(600字以内、用紙随意)  
雑誌、講演会その他本会の事業を改善するための建設的意見等を簡潔に執筆したもの。誌上匿名は差支ない。採否は編修理事が決定する。又要旨だけ掲載する場合もある。
- 本会受付前に他の公開出版物にはほぼ同じ位詳しく掲載されたものは原則として掲載しない。
- 英文要旨 資料・論文に300~500語以内(図表を付けない)の英文要旨を付けること。これは海外向本会誌のみに掲載する。
- 原稿の送付先 東京都千代田区有楽町1丁目3番地  
電気学会編修課
- 別刷 50部までは無料で著者に贈呈。それ以上は有料。



九州電力株式会社納入  
電力用コンデンサ自動制御装置  
(戸上電機製作所製)



本装置は最新の技術により戸上電機が製作した電力用コンデンサの自動制御装置であり、これらは無損失形自動開閉器、自動制御箱、放電コイル、コンデンサから成る。特性を要約すると  
制御箱 (1) 電流または電圧による制御方式を採用し検出部分には熱動形メータリレーを用いているので正確、堅牢、安価である。(2) メータリレーは熱動形のため遅緩動作を行い、ハンチングなどではなく設定が非常に容易である。(3) 本器には屋内および屋外用がある。

自動開閉器 (1) 接触部は楔形の2点切し断構造としたので頻繁な負荷開閉にも充分な耐久度と断容量を有する。(2) マグネットは常時は無損失形で、開閉動作は自動はもちろん手動でも自由に行える。

写真は九州電力神崎変電所において 6,000 V, 300 kV 2基の並列コンデンサを電流検出により自動制御している現状を示すもので、枠内は制御箱の屋内屋外用の近接写真である。

(表紙写真説明)

会長	後藤 福	藤田 見	以節 義	紀雄 弘
副会長	浅宮 平	井 寛	茂 一	業 郎
総務理事	関 山	田 太	英 三	男 郎
会計理事	和 木	村 久	重 男	暢 男
編修理事	小 沢	英 久	義 夫	一 夫
調査理事	柳 之	井 園	親 夫	佐 吾
東京支部長	荒岡 斎	藤 千	幸 男	博 雄
関西支部長	林 村	富 芳	知 彦	武 雄
九州支部長	高 野	上 川	重 雄	秋 男
東北支部長	竹 佐	松 加	藤 保	造 喜
東海支部長	佐 松	北 脇		
中国支部長	加 北			
北海道支部長				
北陸支部長				
四国支部長				

目 次

ア	コ	チ	日 潤 電 子 工 業 (前50)	藤 倉 電 線 (前26)
明 製 作 所 (後9)	コ ロ ナ モ ー タ ー (前15)	千 野 製 作 所 (後2)	日本科学技術	ホ
安 藤 電 気 (前7)	サ	中 央 製 作 所 (前8)	情 報 セ ン タ ー (前48)	本 多 電 機 (後11)
アメリカン	佐 藤 金 属 (後3)	中 外 接 点 (後18)	日 本 科 学 冶 金 (後10)	ボ ン 碍 子 (後15)
ト レ ー デ ィ ン グ (前45)	済 美 電 気 (前32)	中 外 接 点 (後18)	日 本 開 閉 器 (後12)	マ
イ	三 三 栄 測 器 (前42)	中 外 接 点 (後18)	日 本 計 器 (後17)	松 尾 電 機 (後6)
伊 東 電 機 (後7)	三 三 社 電 機 (前37)	中 外 接 点 (後18)	日 本 計 器 (後19)	松 下 通 信 工 業 (前53)
井 上 電 機 (前52)	山 洋 電 機 (後13)	中 外 接 点 (後18)	日 本 計 器 (後11)	松 下 電 器 産 業 (後1)
石 塚 電 子 (後9)	シ	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 機 (前54)	ミ
岩 崎 通 信 機 (前16)	指 月 電 機 (後22)	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 機 精 器 (後4)	三 菱 鉛 筆 (後24)
エ	神 鋼 電 機 (前33)	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 機 精 器 (後21)	三 菱 造 船 (前58)
江 藤 電 機 (後3)	新 中 央 工 業 (後14)	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 計 (後14)	三 菱 電 機 (表2)
在 原 製 作 所 (後23)	新 電 元 工 業 (前17)	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 源 機 器 (前14)	幹 電 機 (前46)
永 進 電 機 (後16)	新 日 本 電 機 (前55)	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 子 測 器 (後6)	ム
エ・ア・ブラウン (前20)	ス	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 線 (前29)	村 山 電 機 (後16)
オ	住 友 電 機 工 業 (前25)	中 外 接 点 (後18)	日 本 電 波 (前10)	メ
小 野 測 器 (前18)	ス タ ー ラ イ ト 工 業 (後17)	中 外 接 点 (後18)	日 本 無 線 (前56)	明 電 舎 (みどころ対向)
大 倉 電 機 (後12)	ス タ ン レ ー 電 機 (後19)	中 外 接 点 (後18)	日 本 マ イ ク ロ モ ー タ ー (前23)	目 黒 電 波 測 器 (前12)
大 阪 光 音 電 気 (前39)	セ	中 外 接 点 (後18)	西 日 本 電 線 (前30)	ヤ
大 阪 変 圧 器 (前35)	精 機 工 業 所 (後4)	中 外 接 点 (後18)	萩 原 電 機 (後8)	安 川 電 機 (前38)
沖 電 機 (前28)	関 商 事 (前13)	中 外 接 点 (後18)	阪 神 動 力 機 械 (後23)	ヨ
オ リ ジ ン 電 気 (前44)	タ	中 外 接 点 (後18)	日 立 製 作 所 (表3)	横 河 電 機 (前57)
カ	多 摩 川 精 機 (前41)	中 外 接 点 (後18)	日 立 電 線 (前31)	リ
桂 川 電 機 (後18)	大 興 電 機 (前21)	中 外 接 点 (後18)	ヒ ラ キ 電 計 機 (前49)	理 化 電 機 研 究 所 (前22)
神 岡 金 属 工 業 (後16)	大 日 電 線 (前27)	中 外 接 点 (後18)	富 士 電 機 (表2 対向)	立 正 電 機 (前43)
関 西 二 井 (前40)	高 岳 製 作 所 (前5)	中 外 接 点 (後18)		リ ニ ア ト ラ ン ス 研 究 所 (後7)
キ	高 砂 製 作 所 (後4)	中 外 接 点 (後18)		ワ
共 和 無 線 (後20)	高 砂 鉄 工 (後1)	中 外 接 点 (後18)		渡 辺 電 機 (後8)
京 三 製 作 所 (後2)	タ ケ ガ 理 研 (前24)	中 外 接 点 (後18)		



電 気 学 会

東京都千代田区有楽町一丁目三番地

電話和田倉 (201) 0983 番 振替口座 東京 3168 番  
0984



## 会費納入についての御願い

本年度下半期分会費納入の御依頼が、10 月から 11 月にかけて、会員各位の御手もとに届いていることと存じます。

本会の会費は、1 カ年または 6 カ月分を前納願うことになっており、本会はそれによって、毎月の雑誌発行、講演会などの行事を行う次第でありますので、事情御賢察の上、お忘れなく御払込み下さい。

## 電 気 学 会

### 通俗講演会のお知らせ

日 時 11 月 26 日 (土) 午後 1 時～4 時

会 場 宮崎市二葉町 6 番丁、宮崎市歯科医師会館 2 階ホール

講 演 1. オートメーションの話……………九州大学 大野 克郎 君  
2. 感電と漏電の話……………九州工業大学 後藤 文雄 君

(来聴歓迎・聴講無料)

### 電気学会九州支部

### 「最近の半導体装置とその応用」専門講習会〔予告〕

標記専門講習会の開催について、準備を進めております。詳細は 12 月号会告に発表いたしますので、御期待下さい。

時 期 昭和 36 年 2 月上旬 開催地 東 京

期 間 4 日間、毎日午後 (3 時間程度)

### 電気学会東京支部

### 諸 行 事 こ よ み

昭和 36 年電気四学会連合大会一般講演申込期限 11 月 25 日 (10 月号会告参照)

電気四学会北海道支部連合大会 11 月 25 日 (9 月号会告参照)

電気学会九州支部通俗講演会 11 月 26 日 (別掲会告参照)

電気関係学会関西支部連合大会 11 月 26, 27 日 (10 月号会告参照)

浅野賞・電力賞・電気學術振興賞受賞候補者推薦期限 11 月 30 日 (10 月号会告参照)

### 電気工学年報 昭和 35 年版 出版

B 5 判 670 ページ 定価 450 円 (送料 50 円)

限定出版のものです。若干余部があります。(内容の詳細は、会誌 7・8 月号巻頭広告を御参照下さい。)

### 電気学会名簿 昭和 35 年版 出版

会員各位には、11 月下旬から 12 月初旬までには、お送りできる予定であります。

その後、勤務先や住所などに異動のあった方、誤記にお気付きの方は、お知らせ下さい。

なお、今後の異動についても、その都度お通知下さるよう願います。

### 電気工学ハンドブック 5 版 7 刷

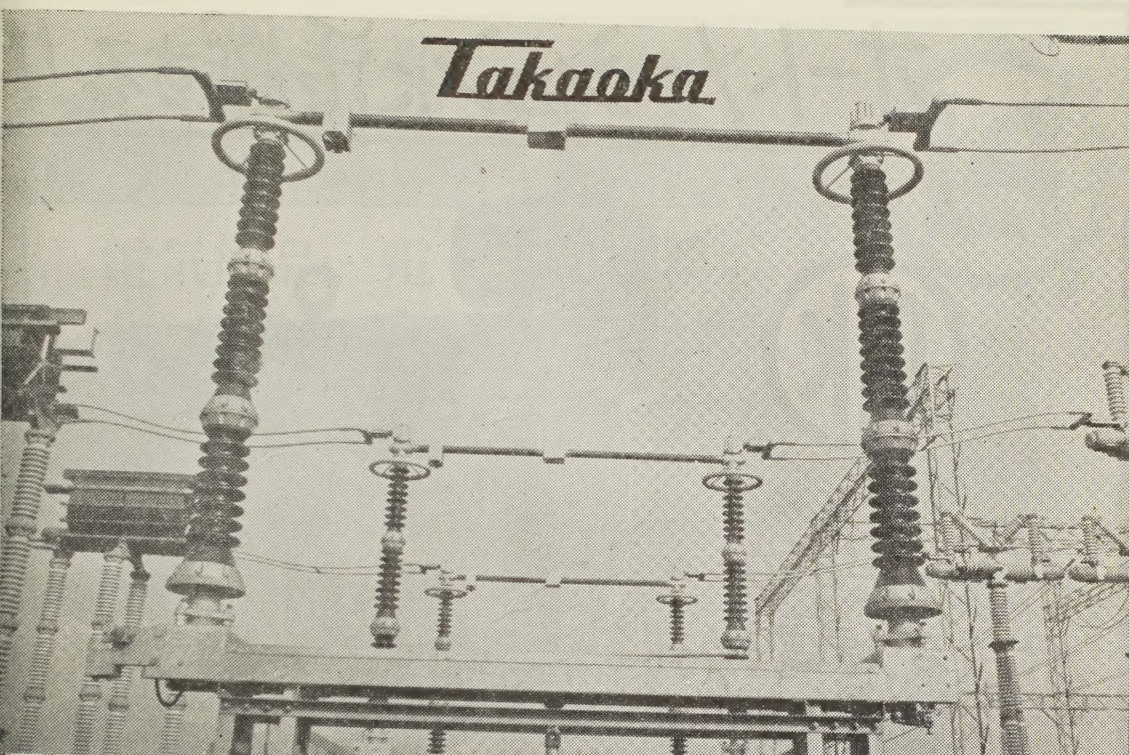
A 5 判 2,266 ページ 定価 3,000 円 (送料 150 円)

(会員特価 2,500 円, 送料 会負担)

本年 8 月発行、在庫あり、御注文を乞う。

東京都千代田区有楽町 1 の 3 電 気 学 会 振 替 口 座 東 京 3168 番





*Takaoka*

**500** kV

超高压にふさわしい

## BBC型水平一点切三極断路器

碍子が3本から2本になり、重量が軽減されると共に変電所の据付面積が少く、経済的である。

投入時の衝撃がほとんど無視出来る程少く、細型の支持碍子が採用出来る。

リードコンネクティングパーツは、きわめて巧妙な構造を有し、30,000回以上の開閉にもほとんど無劣化で耐えている。

株式会社

高岳製作所

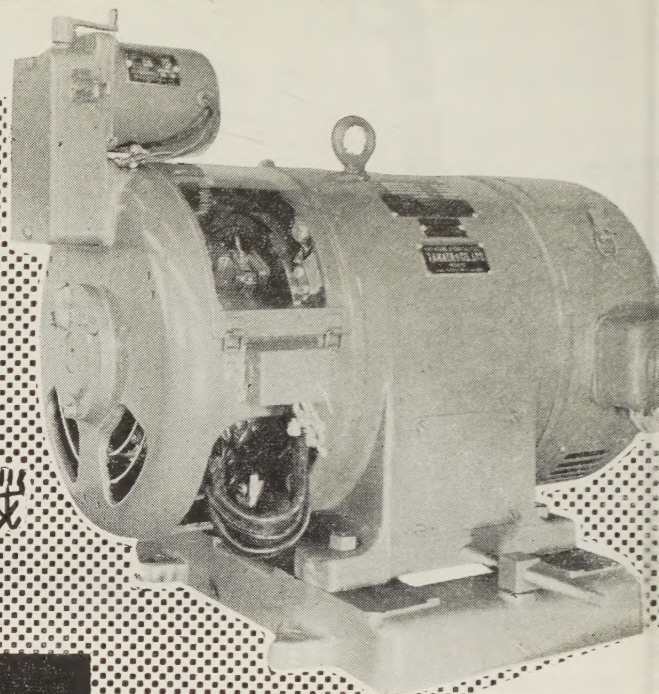
東京都千代田区大手町2の4（新大手町ビル）電話東京（211）代表 1671



# オートメーションに活躍する!!



最も能率的な  
無段変速電動機



## 東洋の AST-Motor

三相整流子電動機

特 長

- ① 極めて簡単な速度調整
- ② 高い効率と優れた力率
- ③ 大きいトルクで少い電流
- ④ 取扱が簡単で維持費低廉

標準形 A S モーターの出力と速度調整範囲

出力 kW (HP) (最高速度 における)	毎分回転数 (全負荷トルクにおける)			
	分 巻 型		超 分 巻 型	
	50 [c/s]	60 [c/s]	50 [c/s]	60 [c/s]
0.4 (1/2)	2,000~650	2,400~800	*2,500~125	*3,000~150
0.75 (1)	"	"	"	"
1.5 (2)	"	"	"	"
2.2 (3)	"	"	"	"
3.7 (5)	"	"	"	"
5.5 (7 1/2)	"	"	1,650~80	2,000~100
7.5 (10)	1,350~450	1,650~550	"	"
11 (15)	"	"	1,650~165	2,000~200
15 (20)	"	"	"	"
19 (25)	"	"	"	"
22 (30)	"	"	1,250~125	1,500~150
30 (40)	1,000~340	1,200~400	"	"
37 (50)	"	"	"	"
55 (75)	"	"	"	"
75 (100)	800~270	970~330	950~160	800~130
90 (120)	"	"	"	"
110 (150)	680~230	800~270	"	"
150 (200)	580~220	700~260	"	"
190 (250)	460~153	550~183	"	"
300 (400)	350~117	420~140	"	"

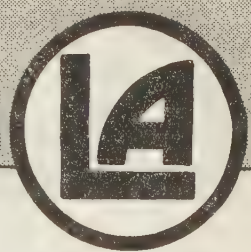
\* 印の定格時間は最高速度の 1/3 までは連続、それ以下は 1 時間定格であります。

## 東洋電機製造株式會社

本 社 東京都中央区京橋 3~4 電話 (281) 3331 (代)  
 営 業 所 大 阪・名 古 屋・小 倉 3231  
 工 場 横 浜・戸 塚・京 都

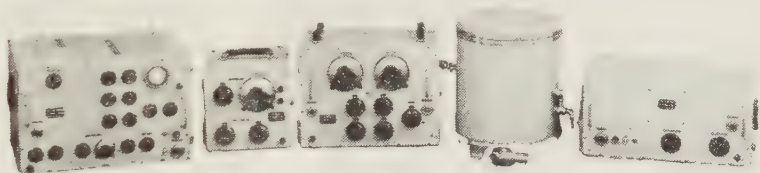


# ANDO 測定器



## 電気部品・電子応用機器の 品質向上 研究の促進には 安藤の交流ブリッジ

弊社では、電気部品用の  $L.C.R$  測定用ブリッジを始め低周波から無線周波までのインピーダンス測定器、誘電体損測定器、通信ケーブル用測定器を製作、つねに扱い易くより精度の高い測定器の開発に努めています。



TR-1B 型 広帯域誘電体損測定装置

### TR-1B 型広帯域誘電体損測定器

本器は広帯域の周波数に亘って静電容量およびコンダクタンスを正確に直読出来るもので、誘電体の  $\tan \delta$  周波数特性を測定するに適するものであります。

測定周波数 (30 c/s $\sim$ 5 Mc),  $\tan \delta$  測定範囲 ( $10^{-4}\sim 10^{-1}$ )

### ブリッジー一覧表

電気部品測定用	$L.C.R$ 測定器, $L.C.R$ 比較計, トランジスタ測定器, 電子管用測定器, 変成器用測定器
ケーブル用測定用	減幅定数測定器, 静電結合測定器, 電磁結合測定器, 導体抵抗測定器, その他各種
インピーダンス測定用	音声周波 (300 c/s) から無線周波用 (70 Mc) まで各種
誘電体損測定用	コンデンサの測定用から, 誘電体の化学分析用, 絶縁劣化度の測定用まで各種

### 広告目次

5 月号 絶縁材料測定器一式  
6 月号 マイクロ波測定器  
7 月号 電子管式絶縁抵抗計

8 月号 位相計一式  
9 月号 高圧用  $\tan \delta$  測定器一式  
10 月号 BH トレーサー

# 安藤電気株式会社

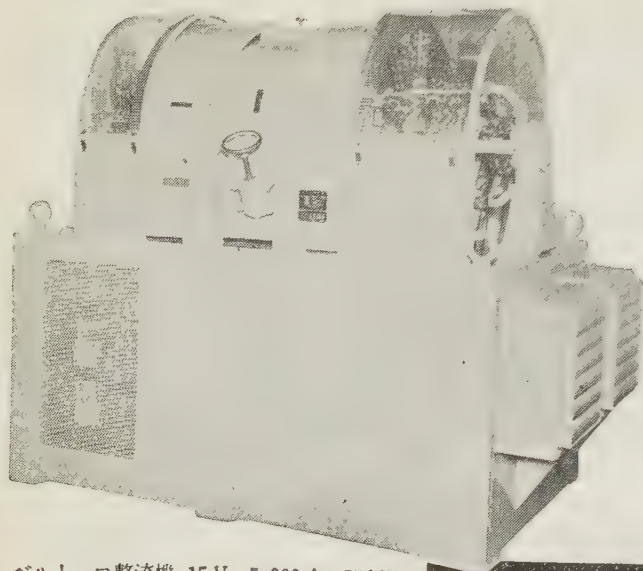
東京都大田区仲蒲田 3 - 4

Tel (731) 1161 (代)



整流機  
シリコン  
ニタウム  
バルクロー

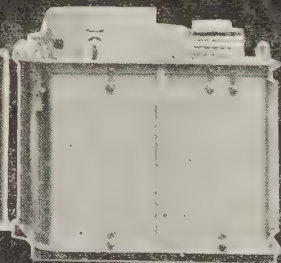
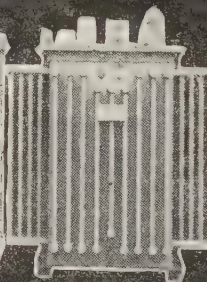
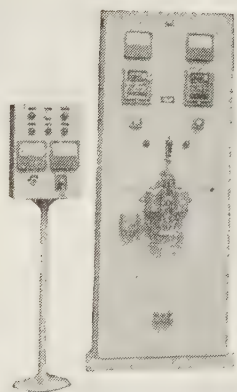
良心的な技術と  
豊富な経験とを誇る



ベルトロー整流機 15 V-5,000 A 75 kW

各種制御盤

配電盤・自動制御機器



シリコン整流器 15 V-10,000 A 150 kW

所

株式会社 中央製作所

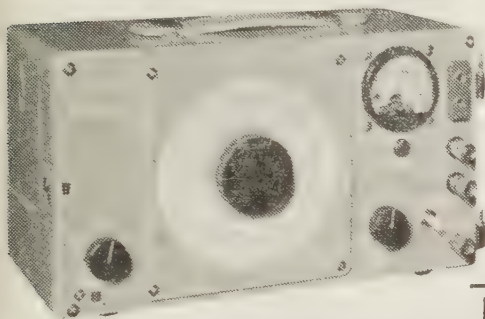
型録贈呈  
誌名御記入

本社工場 名古屋市瑞穂区内浜町2丁目75番地 TEL 代表 (81) 3166  
出張所 東京都港区芝浜松町4丁目2番地 TEL (431) 2177・6257



# CR-60TB トランジスタ発振器

トランジスタを用いた小型携帯用の低周波発振器で、搬送機器、伝送回路などの試験調整に最適のものであります。



周波数範囲：  
0.2 kc~60 kc  
周波数精度：±2 %  
出力：  
各バンド内 1 dB以内  
周波数特性： 3 %以内  
電源：  
22.5 V 乾電池

ジスタ測定器  
イト、トラン  
'61年のハイラ

# LM-8TB トランジスタレベル測定器

トランジスタを用いた小型携帯用のレベル測定器でありながら、周波数およびレベルの可能範囲において、また測定精度において、大型器なみの働きをします。また消費電力においても、予備電池の内蔵により、連続 80 時間以上の使用が可能です。

## 使用周波数範囲

0.2 kc~60 kc 600Ω 回線 (平衡または不平衡)  
50 kc~500 kc 75Ω 回線 ( " )  
0.2 kc~500 kc " (不平衡)

## 測定レベル範囲

-60dBm ~ +30dBm



# 東亜電波 の計測器

## チョッパ CH-1 CH-4

### 用途

CH-1: 特に高い入力抵抗 (10~1,000MΩ) の回路。

(例) 高入力抵抗直流増幅器、(pH計指示部・光電流増幅器等)  
高入力抵抗自動平衡式記録計。

CH-4: 中入力抵抗 (1~10MΩ) の回路。

(例) 組み合わせ増幅器 (演算増幅器等) におけるドリフト補償用増幅器等。

またCH-1、CH-4、はいずれも低入力抵抗の回路 (数Ω ~ 数10KΩ) で使用して、数μV の検出が可能です。



東亜電波工業株式会社

本社 東京都新宿区諏訪町 2 3 5 - 4 (369) 0101 (代)  
出張所 大阪市東区淡路町 3 の 6 船場ビル (23) 6547  
サービス 福岡市東区 88 - 2 日興電気商会内 (4) 74910  
ステーション 名古屋市中区朝日町 2 の 5 朝日電子エレクトロニクス (9) 5232





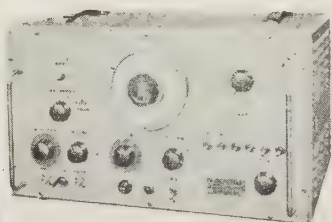
# 日本電波 のパルス発生器!!

## パルス発生器 N-220



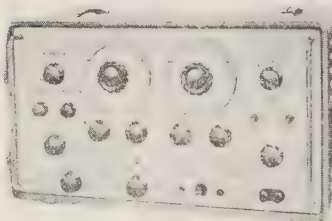
パルスレート	50~5,000% 2レンジ切替
パルス幅	0.1 $\mu$ S~10 $\mu$ S 連続可変
パルス波形	上昇, 下降時間 0.02 $\mu$ S
出力	40V以上 50 $\Omega$ 負荷で正負とも
パルス位置	遅れ 0~100 $\mu$ S 進み 0~10 $\mu$ S
寸法・重量	530×365×405mm 約40kg

## パルス発生器 N-221A



パルスレート	1%~100kc 5レンジ連続可変
パルス幅	0.1 $\mu$ S~100 $\mu$ S 3レンジ連続可変
パルス波形	上昇, 下降時間 約0.02 $\mu$ S
出力	35V以上 50 $\Omega$ 負荷で正負とも
パルス位置	遅れ 0~8 $\mu$ S 進み 0~2 $\mu$ S
寸法・重量	500×286×400mm 約35kg

## ダブルパルス発生器 N-222



パルス出力	単一, または二重パルス, 正または負 600 $\Omega$ 負荷 正パルス 約45V 負パルス 150V以上
パルスレート	0.1%~10kc 5レンジ
パルス幅	1~100 $\mu$ S 2レンジ切替
パルス間隔	繰返し同期の約50%連続可変
寸法・重量	502×282×370mm 約27kg

# 日本電波株式会社

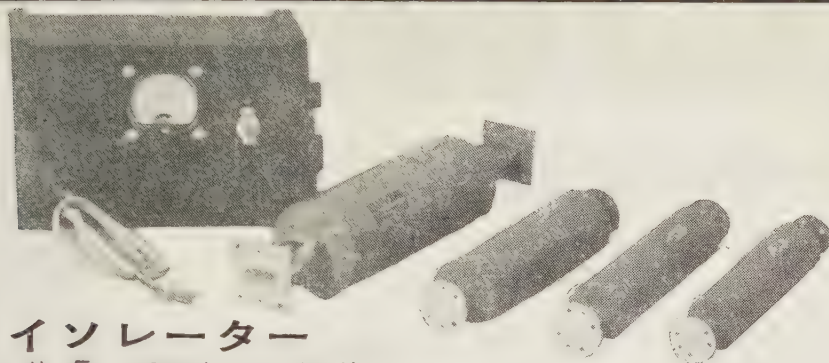
東京都品川区東中延四丁目一四〇二

電話 (781) 7155, 7181 (代) (782) 1013 営業直通

中部地区特約店 六合産業株式会社 電話 熱田局 (67) 3517  
関西地区特約店 大和電機販売株式会社 電話 大阪局 (94) 1312, 6390



# アイソレーター及び回転型抵抗減衰器



## アイソレーター

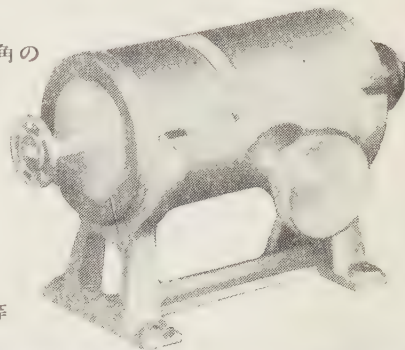
**特長** このアイソレーターは  
周波数に応じて励磁電流を調整し最大の逆方向損失が得られる

型 名	周 波 数 (G c / s )	導 波 管	挿 入 損 失 (d b)		逆方向損失 (d b)		V. S. W. R	寸 法
			中 心	帯 域	中 心	帯 域		
TFR-10	8.6 ~ 9.6	WR J-10 BR J-10	0.7 以下	1.0 以下	35以上	20以上	<1.25以下	300
TFR-24	22.5 ~ 24.5	WR J-24 BR J-24	0.8   〃	1.0   〃	35   〃	18   〃	<1.25   〃	150
TFR-34	34.5 ~ 36.8	WR J-34 BR J-34	0.8   〃	1.2   〃	30   〃	12   〃	<1.4   〃	150
TFR-50	44.0 ~ 50.0	WR J-50 BR J-50	1.0   〃	1.5   〃	30   〃	12   〃	<1.5   〃	130

## 回転型抵抗減衰器

型 名	周 波 数 (G c / s )	導 波 管	減 衰 量 (d b)	挿入損失 (d b)	V. S. W. R	寸 法	較 正 点
TPCA-24	22 ~ 25	WR J-24	0 ~ 40	0.5 以下	<1.2 以下	200	中心及び両端3点
TPCA-34	33 ~ 37	WR J-34	0 ~ 40	0.8 以下	<1.25以下	150	〃
TPCA-50	42 ~ 52	WR J-50	0 ~ 40	1.2 以下	<1.3 以下	125	〃

- 特長** この回転型抵抗減衰器は
- (1) 周波数によって減衰量が変化せず、回転角のみに関係し、理論値とよく一致する
  - (2) 減衰量を変える際の位相変化がない



### 主要製造品目

各種電波分光装置 ● マイクロ波管 ● 電磁石等  
の高安定電源 ● その他精密電子応用機器

# 東京電気精機株式会社

本社 東京都千代田区神田神田2の11  
T e l (251) 9186 (代) ~ 3 4414  
工場 文京工場・立川工場



# WOW

## 各種録音 再生装置の回転むらの直読装置

**MK-661 B** 回転むら計 (Wow (Flutter) Meter)

### 用 途

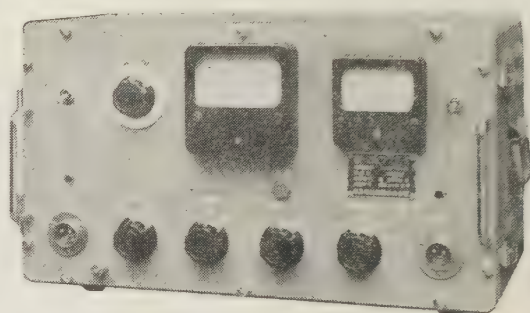
本器は録音、再生装置の回転むらを直読する装置で、回転装置の製造、検査、保守などに用いられる。

### 概 要

本器は一定周波数(3,000 c/s)の連続音が録音・再生される際、装置の回転むらによって起る周波数変調と振幅変調を受けた試験信号を増幅および振幅制限をなし、3,000 c/sの周波数弁別器に加え、その出力を聴感補正回路を通じ可変容量形チョッパーにより約 1,000 c/s の交流電圧に変換し熱電対指示計にて指示する。

### 規 格

測定中心周波数	3,000 c/s $\pm 2\%$
入 力	600 $\Omega$ 平衡 および 10 k $\Omega$ 平衡
インピーダンス	3,000 c/s $\pm 10\%$ の範囲で 600 $\Omega$ 10 k $\Omega$ とも $\pm 20\%$ 以内
入力レベル範囲	-26 $\sim$ +10 dBm 範囲で振幅に無関係
測 定 レ ン ジ	0.03, 0.1, 0.3, 1, 3 % の 5 レンジ
帯域濾波器特性	3,000 c/s $\pm 200$ c/s の範囲で 1 dB 以内 1500 c/s および 6000 c/s の減衰量は 16 dB 以上
周波数弁別器の直線性	中心周波数より $\pm 150$ c/s までの直線性は $\pm 2\%$ 以内。 ただし 中心周波数は 3,000 および $\pm 2\%$ の 3 点とする
チョッパー周波数	約 1,000 c/s
指示値の許容差	最大値の 1/3 以上の値に対して $\pm 5\%$ 以内



総合周波数特性	聴感補正をした場合 BSS 493 P 175 に対する偏差は、0.5 $\sim$ 20 c/s で $\pm 5\%$ 、20 $\sim$ 100 c/s で $\pm 10\%$ 以内
発 振 周 波 数	3,000 c/s および 3,000 c/s $\pm 3\%$ の 3 周波数
発振周波数漂動	電源電圧 100 V $\pm 5\%$ の範囲にて起動 20 分後 0.1 % 以下
出 力	3,000 c/s $\pm 10\%$ の範囲で
インピーダンス	600 $\Omega$ $\pm 20\%$ 以内
出 力	-10 dBm 以上(半固定)
歪 率	-10 dBm 出力において 5 % 以下
使用真空管	6 AU 6 $\times$ 3, 6 AL 5 $\times$ 1, 12 AU 7 $\times$ 1, 12 A $\times$ 7 $\times$ 1, 6 BL 8 $\times$ 2, 6 AH 6 $\times$ 1, 6C4 $\times$ 1, VR150 $\times$ 2
電 源	100 V 50/60 c/s 約 80 VA
寸 属 品	入出力コード管 1, オッシロ用コード 1
寸法および重量	330 $\times$ 530 $\times$ 290 mm, 約 24 kg



## 目黒電波測器株式会社

(国電エビス駅  
より東急バス  
五本木下車)

東京都目黒区上目黒五丁目二六五八番地 電話 目黒 (712)1166(代)~9・1160




# FOR

very accurate local time comparisons


generation of very accurate local time  
with atomic or quartz oscillators

## this new 113AR Clock is the ultimate



This new  113AR Frequency Divider and Clock makes possible precision time comparisons between stable oscillators and standard WWV or other transmitted time signals. This permits adjustment of frequency or time standards for greater absolute accuracy, and simplifies obtaining detailed records of drift rates, or time or frequency differences between oscillators in widely separated systems.

Propagation path errors can be averaged out and Doppler errors are virtually eliminated.

 113AR's unique optical gate (no contacts, no wear, cannot add jitter) and a directly calibrated precision phase shifter make possible the unique accuracy of the Clock providing a time comparison capability of  $\pm 10 \mu\text{sec}$ . Regenerative dividers, a phase-stable motor and precision gear train provide fail-safe operation not attained by pulse counting systems.

Model 113AR is conservatively designed from premium components, fully transistorized for longer standby battery operation, and meets performance requirements of MIL-E-16400. The unit is rugged, dependable and measures only 7" high.

**HEWLETT-PACKARD COMPANY**

Palo Alto, California, U.S.A.

### SPECIFICATIONS

**Input Frequency:** 100 KC  $\pm$  300 cps.

**Input Voltage:** 0.5 to 5 v rms.

**Input Impedance:** Approx. 300 ohms

**Output Signals:** (1) 1 pps, 10 v, 10  $\mu\text{sec}$  rise time, approx.  $20 \pm 10 \mu\text{sec}$  duration, into 5,000 ohms (2) 1 pps, 4 v, 10  $\mu\text{sec}$  rise time,  $100 \pm 3 \text{ msec}$  duration, from 50 ohms (3) 1 KC pulses, pos and neg, 4 v peak, 8  $\mu\text{sec}$  nominal duration from approx. 5,000 ohms.

**Frequency Divider:** Regenerative; fail-safe.

**Time Reference:** Continuously adjustable, calibrated in 10  $\mu\text{sec}$  increments.

**Clock:** Manual start, 24 hr dial.

**Auxiliary Output:** 1, 10 and 100 KC sine waves; 0.25 v rms from 1,200 ohms.

**Power Requirements:** 26 v  $\pm$  2 v ( 724A Power Supply).

**Size:** 7" high, 19" wide, 19 1/2" deep. Wt. 35 lbs.

*Data subject to change without notice.*



日本総代理店

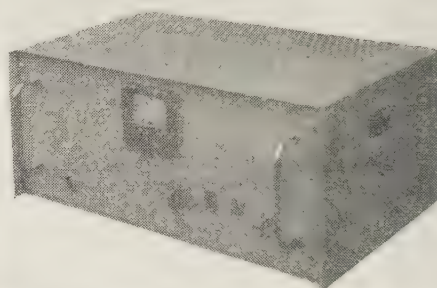
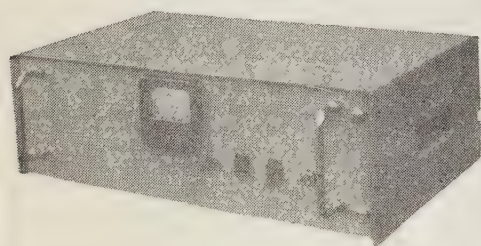
# 関商事株式会社

東京都千代田区神田東福田町1番地 電話(866)代表3136



# 全トランジスタ増巾器型 交流自動電圧調整器

# VOLCO



日本で初めての真空管増巾器式、世界で始めて磁気増巾器式自動電圧調整器を発表したVOLCOが、今回又世界で初めての全トランジスタ増巾器式の自動電圧調整器を商品として市場に提供することになりました。

性能は従来の真空管式と全く同様な優秀なものです。

寿命と信頼性は従来の磁気増巾器式よりはるかにすぐれております。

## サービス代行店

### 関東甲信越地区 吉沢精機工業株式会社

本社 東京都文京区湯島新花町35  
Tel. (921) 1042・7088・(929) 0289

営業所 長野市横町20  
Tel. 長野 4601  
新潟市下大川前石油企業会館内  
Tel. 新潟 (3) 0603

中京地区 株式会社 朝日商会  
名古屋市中種区覚王山通3-34  
Tel. (73) 8147~9・8140

### 関西地区 株式会社 三栄商会

大阪市北区東堀川町11  
Tel. 大阪 (36) 2556~7

### 中国・四国・九州地区 新川電機株式会社

本店 広島市三川町1  
Tel. 中 (2) 9147~9・9140

支店 高松市南鍛冶屋町4-18  
Tel. 高松 (2) 7343  
福岡市上小山町3-4  
Tel. 福岡 (2) 0514・(3) 6344

**日本電源機器株式会社**

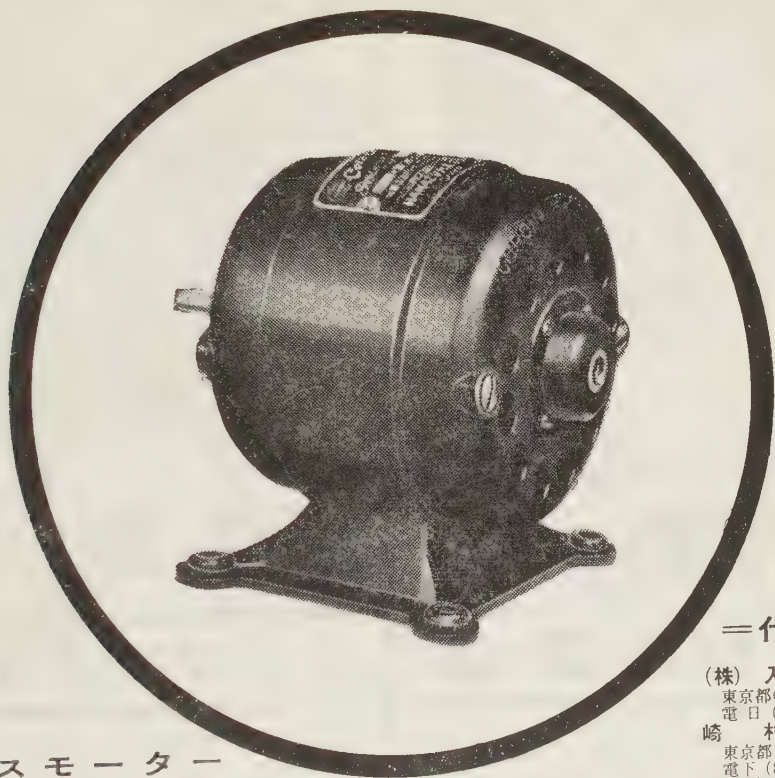
東京都墨田区寺島町5-130 電話 (611) 2461・2971

出張所 大阪市東区谷町1-7 電話 (94) 1140



古き伝統と新しい技術

# コロナモーター



シリーズモーター  
シンクロナスモーター  
キャパシターモーター

は特に量産しております。

その他 小型モーターと発電機 については  
御相談下さい。必ず御期待にそいます。



(旧社名 花塚電機産業株式会社)

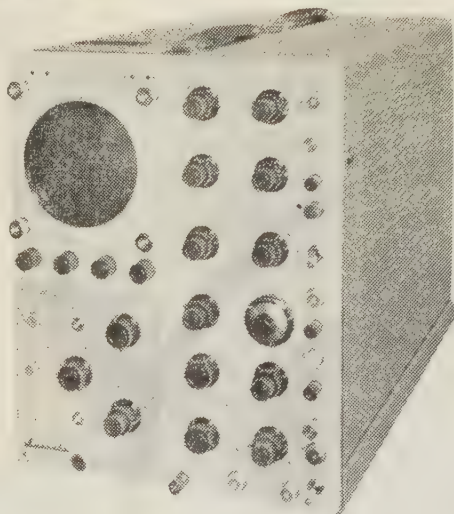
## コロナモーター株式会社

東京都目黒区東町52番地 電話 目黒(712)代表3146-9

### ＝代理店＝

(株) 入江製作所  
東京都中央区日本橋本町4の7  
電日(241)代表5281  
崎村商店  
東京都千代田区神田五軒町42  
電下(891)9953.4346  
吉沢精機工業株式会社  
東京都文京区湯島新花町35  
電小(921)1042.7088  
営業所 長野市横町20  
電話 長野4601  
新潟市下大川前石油企業会館内  
電話 新潟(3)0603  
ユタカ電業株式会社  
東京都港区芝新橋5の22  
電芝(431)1578.1718.4652.8388  
日本電化工業社  
京都市下京区河原町通り四条下ル(日生ビル)  
電下(5)2587.9247  
沢電気機械株式会社  
大阪市西区土佐堀通り2の8  
電大(44)3715(代表)~9  
(株) 西山製作所  
大阪市東区瓦町2の15  
電北(23)5755.229.448  
(有) 入江製作所  
名古屋市中区大池町1の48  
電中(24)1621.6389  
岩谷産業株式会社  
大阪市東区本町3  
電船(26)3251~5.8251~5  
営業所 東京・名古屋





瞬時現象！ 連続現象！

## 岩崎の メモリスコープ

MS-5012

メモリスコープは、直接表示蓄積管のメモトロンを使用したシンクロスコープで、瞬時現象を必要な時間だけそのまゝとっておく事ができます。不要になれば直ぐ消去することも可能です。

### 性能

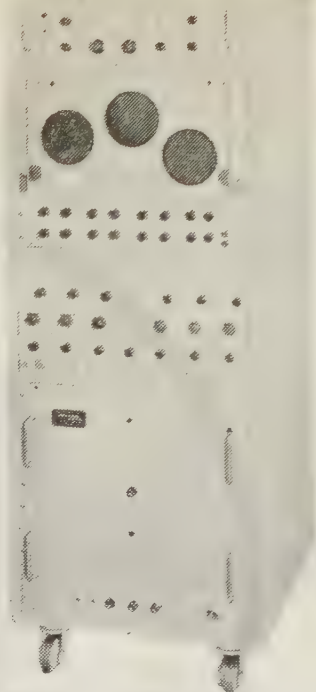
感度 10mV/cm

周波数帯域 DC~1 Mc

掃引方式 内部・外部のトリガー又は自励  
遅延掃引、電源掃引、外部掃引

掃引時間 1  $\mu$ sec/cm~12sec/cm

校正電圧 0.2mV~100V



## 6現象

## シンクロスコープ

2要素ブラウン管を3組使用した、多現象用のシンクロスコープです。現象を記録するためには、このまま、接写装置で写真をとると、オシログラフの上に6現象を光学的に集めて連続記録するのと、2つの方法があります。後の方法の場合にはセトのパネル面に装置を取付けます。

### 性能

ブラウン管 5SP11A 3本

感度 0.05V/cm

入力インピーダンス 1M $\Omega$

周波数帯域 DC~500kc

掃引方式 トリガー掃引、単掃引及び自励  
内部・外部・電源の正及び負

掃引時間 4  $\mu$ sec/cm~15msec/cm

校正電圧 0.05V~100V

電源 100V 50~60%



岩崎通信機株式会社

(お問合せは営業所又は出張所へお願いします)

東京営業所 東京都中央区日本橋通り1の6 浅野ビル  
電話 271, 0461~8・0471~7

大阪営業所 大阪市東区淡路町5の2 長谷川ビル  
電話 (23) 1616 代表

本社及工場 東京都杉並区久我山2丁目710 番地  
電話 代表(391)2231・(398)2231

出張所 札幌・仙台・金沢・名古屋・広島・福岡・熊本



国産最大容量を誇る

新電元の

# パワートランジスタ

弊社のパワートランジスタ群は40Vから100V、10Aから30Aを開閉することのできるP.N.Pゲルマニウム合金接合で、最大接合温度85℃、ジャンクションからコレクタフランジ迄の熱抵抗0.8℃/W以下の超大型パワートランジスタであります。

## 用 途

電気時計クロックパルス発生用 自動車及びオートバイのイグニション電源 写真用フラッシュランプ高圧電源 メーガー用高圧電源 高速度磁気増巾器用矩形波電源 蛍光灯用電源 移動無線機用電源 ブースターに依る直流の定電圧化電源 即応定電圧整流器 正弦波バランシングモーター制御用電源 正逆出力低周波直流増幅器 直流発電機の電圧調整用 直流回路の開閉用 パルスモーター駆動用

コレクタ損失 82.5W

## 営業品目

セレン整流器  
ゲルマニウム整流器  
磁気増幅器  
自動電圧調整器  
パワートランジスタ

## 定 格 表

品 種		ベース・コレクタ間電圧 開放 V <sub>CB0max</sub> (V)	エミッタ・コレクタ間電圧 エミッタ逆バイアス V <sub>CEXmax</sub> (V)	エミッタ電圧 V <sub>EB0max</sub> (V)	コレクタ電流		ベース電流		コレクタ消費電力 P <sub>C</sub> (W)	保存温度 T <sub>stg</sub> (℃)
					平均値	波高値	平均値	波高値		
					I <sub>C</sub> (A <sub>ave</sub> )	10ms以内 I <sub>C</sub> (A <sub>peak</sub> )	I <sub>B</sub> (A <sub>ave</sub> )	10ms以内 I <sub>B</sub> (A <sub>peak</sub> )		
L	10	-40	-40	-40	-10	-15	-1.5	-3.0	16	-60~+91
	15A	〃	〃	〃	-15	-20	〃	〃	〃	〃
	15B	〃	〃	〃	〃	-30	〃	〃	〃	〃
H	10	-80	-80	〃	-10	-15	〃	〃	〃	〃
	15A	〃	〃	〃	-15	-20	〃	〃	〃	〃
	15B	〃	〃	〃	〃	-30	〃	〃	〃	〃
U	15A	-100	-100	〃	-15	-20	〃	〃	〃	〃
	15B	〃	〃	〃	〃	-30	〃	〃	〃	〃

- 注 1) 上記は、周囲温度 40℃ 自然空冷 200×200×1t mm の銅放熱板に直接取付た場合の値  
2) この定格はスイッチングには適用しない。  
3) 逆バイアスは、0.4V~2V



# 新 電 元 工 業 株 式 會 社

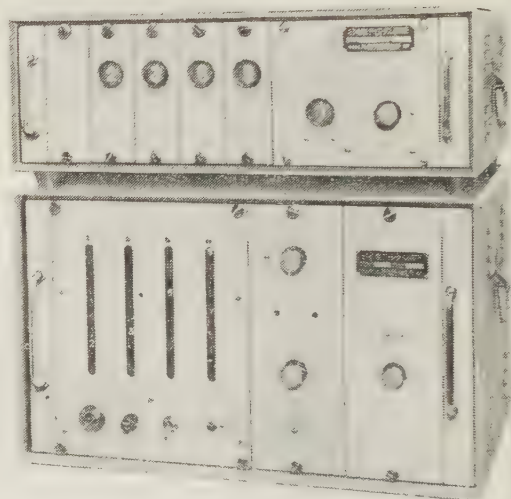
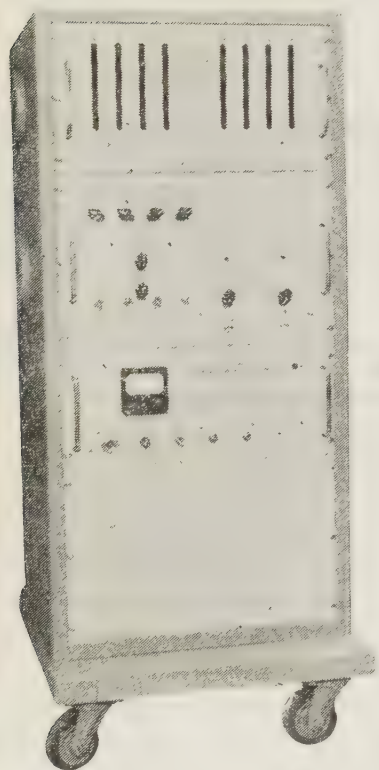
本 社 東京都千代田区大手町 新大手町ビル 電話 (211) 2571 代表  
大阪出張所 大阪市北区角田町 阪急航空ビル 電話 (36) 3294~3295



# デジタル計測の小野測器

## ET-51 型 瞬時デジタル回転計

0.1 秒で.....R.P.M 直読  
 回 転 数.....8,000 R.P.M 迄  
 精 度..... $\pm 1$  R.P.M 以下  
 (但し 600 P/R ピックアップ使用の場合)



## FF-443 型 デジタル回転比計

回転比を.....パーセント直読  
 回 転 比.....0~100 %  
 精 度..... $\pm 0.1$  % 以下

動作切換による計数表示

計 数 器	回転数測定	回転比測定
A チャンネル	R.P.M	R.P.M
B チャンネル	R.P.M	%回転比



株式 小野測器製作所

東京都大田区下丸子 257  
 電話 東京 (738) 1900 (731) 9937

# リコ-自動電圧調整装置

凡ゆる機器の制御は電源電圧の自動制御から……………

専門メーカーのリコ-定電圧装置は負荷機器の種類により磁気増幅型 (MR 型)

増幅変圧器型 (MDR 型) 鉄共振型 (FR 型) の 3 群に岐け製作いたしております。

各電力会社、有力産業会社、学校の現場或いは研究室用の電源として多数御採用賜り、絶対の信頼を頂いております。

自動電圧調整装置標準仕様

型 式	入力電圧 変動範囲	周 波 数 変化範囲	出力電圧 精 度	負荷変化 範 囲	応答時間	製作機 容 量
鉄共振型	70~120 V 又ハ 170~240 V	50 c/s 又ハ 60 c/s	±1 % 以内	0~100 %	即応	100 VA ~ 5 kVA
増幅変圧器型	70~120 V 又ハ 140~240 V	影響なし	±2 % 以内	0~100 %	平均 2.5 V/秒 以内	1 kVA ~ 50 kVA
磁気増幅器型	80~120 V 又ハ 160~240 V	46~52 c/s 又ハ 56~62 c/s	±0.5 以内	0~100 %	0.2 秒 以内	100 VA ~ 30 kVA

変圧器摺動型 1 φ 20 kVA

磁気増幅器型新資料贈呈

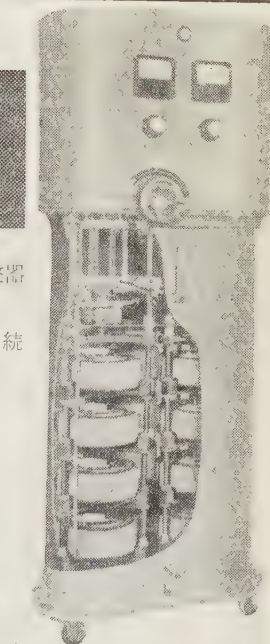
## スライド・トランス 摺動変圧器

スライド・トランスの用途は電気応用機器の発展と多岐化に伴いテレビの電圧調整器から電力、電機会社の設備用電源装置にわたっております。

弊社ではスライド・トランスの利点を御認識願ひ度く、日夜凡ゆる部品、機構の研究を続け、海外迄広く御利用願っております。

現在用途別に次の型式のものを製作いたしております。

型 式	TYPE	使 用 法	製 作 容 量
据置式	R S RSD	操作ハンドルが垂直に取付けられ据置の位置で使用する	1 φ 100 VA~10 kVA 3 φ 2 kVA~30 kVA
パネル 取付型	P S	制御盤等に直接取付けて使用する	1 φ 100 VA~3 kVA
横 式	S S	筐体内部に組込んで使用する又は壁掛式で使用する	1 φ 4 kVA~10 kVA 3 φ 1.73~17.3 kVA
油 入 自注式	O S	耐爆・耐酸性を必要の場合又は大容量のもの	1 φ 500 VA~3 φ 50 kVA



3 φ 40 kVA 200 V/0~240 V

リコ- OS 型

スライド・トランス



## 東京理工舎

東京都北区田端新町 2-5 電話 (837) 0171(代) 4

カタログ資料急送  
申上ます



高絶縁仕上に

# Silox Pelgan Spray

速乾性シリコン・フニスで、極めて高い表面抵抗と耐アーク性を有し、各種強弱電機器の表面仕上りとして使用されている。

	Silox Pelgan 7	Silox Pelgan C	Silox Pelgan Spray
粘 度 (c.p.)	100~200	100~150	
絶縁耐力 (v/0.1mm)	常態 6200 受水后 (24h) 6000		5900 5500
体積固有抵抗 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ 25°C)	常態 $1.8 \times 10^{16}$ 浸水后 $1.6 \times 10^{16}$	$1.1 \times 10^{15}$ $1.1 \times 10^{15}$	$1.2 \times 10^{16}$ $1.2 \times 10^{16}$
表面固有抵抗 ( $\Omega$ ) 25°C	常態 受水后	$3.8 \times 10^{15}$ $1.0 \times 10^{15}$	$> 2.0 \times 10^{16}$ $> 2.0 \times 10^{16}$

## 富士高分子工業株式会社 (旧エ・ア・ブラウン・マクフアレン(株) 目黒研究所)

本社・目黒研究所 東京都目黒区上目黒3丁目1846 電話 713・0195(代)  
東京連絡所 東京都中央区銀座2丁目3 栄井ビル 電話 京橋 561) 5141-5  
大阪連絡所 大阪市東区今橋4丁目1 三菱信託ビル 電話 北浜 (23) 727・4210

### 特約店 稲 畑 産 業 株 式 会 社

本 社 大阪市南区順慶町2の51 電話 (26) 4951 (代表)~5  
東 京 支 店 東京都中央区日本橋本町2の6 電話 (661) 4156~9・4150  
名古屋支店 名古屋市中区伊勢町5の8、京都支店 京都市中京区油小路通四条上ル、福岡支店 福岡市蔵本町

Silicone News



Dow Corning  
**5 Compound**

碍子絶縁 } に応用  
塩塵害防止 }

型録は、下の点線囲みの部分を切抜き  
御請求下さい。

カタログ送附されたし

氏 名 \_\_\_\_\_

住 所 \_\_\_\_\_

勤務先  
(会社名) \_\_\_\_\_

電気学会雑誌-1-35

### エ・ア・ブラウン・マクフアレン株式会社

東京都中央区銀座2~3米井ビル 電 (561) 5141~5  
大阪市東区今橋4 三菱信託ビル 電 (23) 727・4210

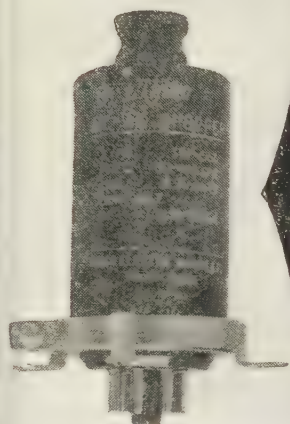
Dow Corning  
FIRST IN SILICONES

# Taiiko

# タイコーチョップ

## DC-ACチョップ

チョップは直流入力を交流に変換し、あるいはこれを増巾後出力を再び直流に転換する機能を有するもので、一般自動制御機器を始めとして直流増巾器、アナログ計算器の増巾器、自己平衡電位差計、マイクロボルトメータ等記録測定関係の各分野に使用されています。弊社は多年チョップの研究に従事し、構造、振動機構等に独自の改良を行い特に雑音防止、長寿命の点に特色を有しています。



品 種	TCP-55A	TCP-55B	TCP-561A	TCP-561B	TCP-561C
定格駆動電圧電流※1	6.3V 70mA (50%), 65mA (60%)	6.3V 140mA (50%), 130mA (60%)			
定 格 周 波 数	50 ± 5 % または 60 ± 5 %				
駆 動 電 圧 範 囲	4.5V ~ 7.5V				
動 作 形 式	S P D T                      D P D T				
入 力 部 変 換 回 路	ベースピン 1 ~ 2 ~ 3				
入 力 変 換 電 圧	1μV ~ 1.5V	1V ~ 50V	1μV ~ 1.5V	1μV ~ 1.5V	1V ~ 50V
入 力 変 換 電 流 (最大)	1 mA	5 mA	1 mA	1 mA	5 mA
出 力 部 変 換 回 路	ベースピン 5 ~ 6 ~ 7				
出 力 変 換 電 圧	1V ~ 50V				
出 力 変 換 電 流 (最大)	5 mA				
接点間および接点 区体間絶縁抵抗	10 <sup>12</sup> Ω 以上				
空極区体間絶縁抵抗	100 MΩ 以上				
位 相 お くれ	30° (50%), 40° (60%)	30° (50%), 40° (60%)	30° (50%), 40° (60%)	30° (50%), 40° (60%)	(入出力側共)
位 相 対 称 度	3° 以 内				
耐 振 動	3 % 以 内				
雑音(100kΩ負荷r.m.s.)	1 μV 以 下				
接 触 率※2	BBM 45 % MBB 55 %				
温 度 範 囲	-10°C ~ 60°C				
重 量	230 gr				

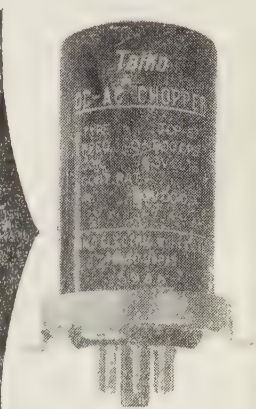
※1 御使用なさる定格駆動周波数を御指定下さい。

※2 接触率はBBMまたはMBBの何れかを御指定下さい、なお特に御要望のある場合は15%~75%の範囲にて特別に調整も致します。

## 特殊チョップ

TCP-57、TCP-58チョップは接点容量が大きく電源用として使用されると同時に、自動制御や計器用としての直流増巾器にも使用されます。但し低雑音を必要とする処には不向きで、此の用途にはTCP-55A又はTCP-561Aを御使用願います。

品 名	TCP - 58	TCP - 57
周 波 数 範 囲	定格 50% 又は 60%	定格 400%
駆 動 電 圧 (動作範囲)	定格 A・C 17.5V 50% (15 ~ 20 V)	定格 A・C 6.3V 400% (5.5 ~ 8 V)
線 輪 電 流 (mA)	40	60
線輪直流抵抗 20°C	380 Ω ± 5 %	22 Ω ± 5 %
入 力 部 変 換 回 路	ベースピン 1 ~ 2 ~ 3	
入 力 変 換 電 圧	100 V 最大	50 V 最大
入 力 変 換 電 流 (最大)	0.3 A	0.1 A
接 点 間 及 び 接 点 区 体 間 絶 縁 抵 抗	最 小	200 MΩ
空 極 区 体 間 絶 縁 抵 抗	最 小	500 MΩ
接 触 率	B・B・M	45 %
温 度 範 囲	-10°C ~ 60°C	
重 量	230 gr	



## 株式会社 大興電機製作所

本社・東京工場    東京都品川区東中延4の1402    電話 (781) 7155(代) 7181(代) 6411  
矢板工場    栃木県矢板市    電話 (矢板) 36・49・63



# 理化電機の 高性能自動平衡記録計器

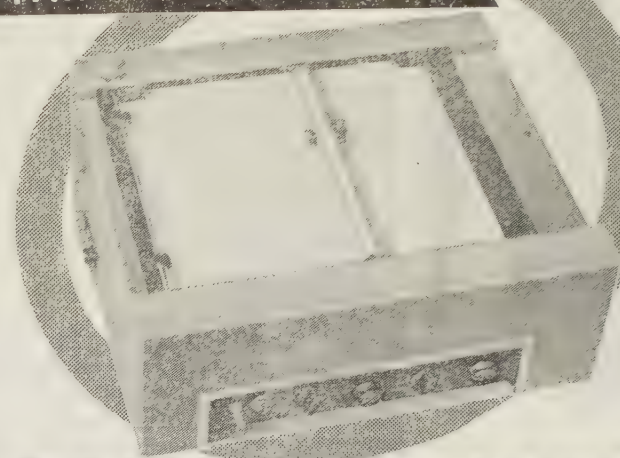
## 平面型 X-Y 軸記録計 (D4型)

### 性能

1. 測定電圧 5mV又は10mV
2. 追従速度 X・Y共1秒  
(高速型 0.5秒)
3. 記録紙寸法 250×250mm
4. 確度  $\pm 0.3\%$

### 特長

- 記録紙を1枚宛セットする事も  
ロール紙を使用して連続セット  
する事も出来ます。
- 制動回路を有し制動特性が良好  
で正確に鮮明に記録出来ます。
- 電源、電圧の変動に対し指示が  
影響を受けません。
- 操作が非常に簡便です。



## 高速平衡記録計 (ER-G1 ER-G2)

(電子管式自動平衡型)

机上用平面型

### 性能

1. 測定電圧 10mVフルスケール
2. 追従速度 (ER-G1 0.7秒)  
(ER-G2 0.3秒)
3. 記録紙幅 250mm
4. 確度  $\pm 0.3\%$
5. 記録紙送り速度  
2, 4, 8, 16, 48cm 毎分, 毎時  
の10段切換

取扱が簡便・高性能で研究用に最適です。

他に二素子ER-H1, ER-H2があります。

### 営業品目

X-Y軸記録計 (ドラム型, 平面型)  
直流磁化特性自動記録装置  
二素子高速平衡記録計  
極座標記録計  
曲線自動追従装置

株式会社 理化電機研究所

東京都目黒区中目黒3-1119

TEL (712) 3549・(713) 8319

日米英独特許

HIGH  
PRECISION  
PATENTED

## 世界最高水準品！ J. MICRO MOTOR

科学技術庁長官賞受賞  
特許庁長官賞受賞  
大河内記念賞受賞  
朝日新聞発明賞受賞  
科学技術庁注目発明選定

### 高信頼度 高追従性 安定性能

#### D. C. SERVO MOTOR, SERVO MOTOR GENERATOR

マイクロモーターは独特の構造をもつ極めて精巧な微小形低損失直流電動機で、短起動時定数、高信頼度を有し、自重 100 g のモーターの能率 73 % という 1/2 HP の直流電動機の能率に匹敵する高性能モーターである。

特に使用経過による作動電流の漸増傾向は全くなく性能は均一かつ安定である。

#### 特 徴

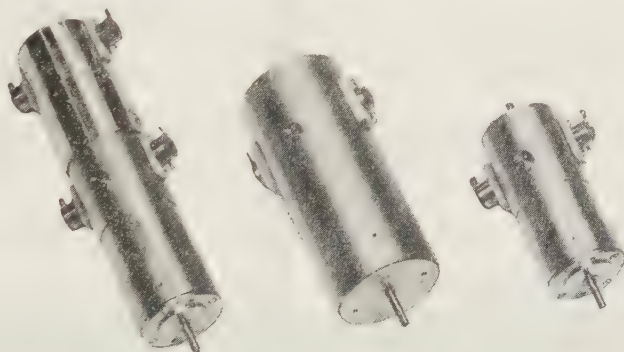
- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| (1) 動作特性の偏差が極めて少い               | (6) $-50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ で作動 |
| (2) 径 18 mm 重量 43 g             | (7) 定格出力時定格回転数 3,000, 5,000 r.p.m.                     |
| (3) 高効率 0.5 W 型 52 % 2 W 型 73 % | (8) 180 g の加速度に耐える                                     |
| (4) 起動時出力時                      | (9) $\text{Hg } 10^{-3}\text{mm}$ において作動               |
| (4) 定格負荷連続作動 2,000 時間以上         | (10) 短起動時定数 0.02 秒以下                                   |
| (5) 右転、左転特性一致                   |  |

#### 製造品目

微小形低損失直流電動機  
微小形低損失直流発電機

微小形速度計発電機付直流電動機  
信号用直流電動機

当社で定めた規格テーブルの数値と納入製品性能との差異はなく、詳細な仕様規格によって納入します。



タコジェネレーター内蔵サ  
ーボ用 マイクロモーター

能率 73 %, CL-4 B  
強力マイクロモーター

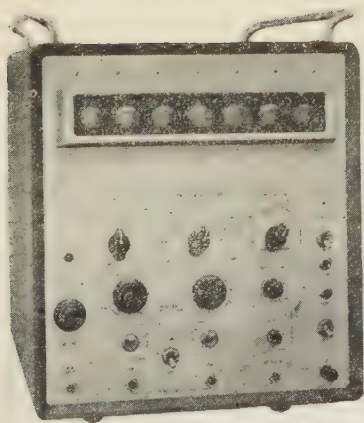
CL-2 A  
マイクロモーター

トランジスタテープレコーダー用普及品もございます

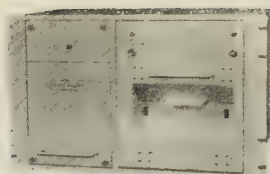
## 日本マイクロモーター株式会社

東京都目黒区下目黒 4-851 番地 電話 (713) 代表 2137~9





-TR-111 / 111D



-TR-278

# タケダ理研の エレクトロニック カウンタ トリオ

-TR-111 + -TR-112A/B + -TR-278

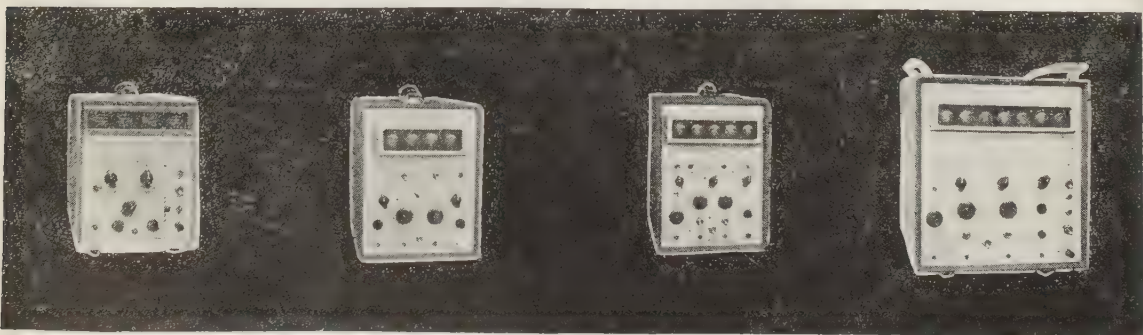
カウンタ

アクセサリ・ユニット

デジタル・プリンタ

**0~220 MC, 0.3 $\mu$ s~10<sup>7</sup>s, accuracy  $\pm 1 \pm 5 \times 10^{-8}$**

1. **-TR-111** 10cps~220MCにわたる広範囲の周波数, 0.3 $\mu$ s~10<sup>7</sup>sにわたる時間々隔測定, ほぼ0 cps~10 KC にわたる周期等の高精度測定のできる最高級エレクトロニック・カウンタ
2. **-TR-110** 10cps~2 MC の周波数測定, 0~10 KCの周期測定, 3 $\mu$ s~10<sup>5</sup>Sの時間々隔測定等, 1台の6つの基本的機能をもつ高性能ユニバーサル・エレクトロニック・カウンタ
3. **-TR-109B** 10cps~200KCの周波数測定, 0~10 KCの周期測定, 30 $\mu$ s~10<sup>4</sup>sの時間々隔測定等が1台のできるユニバーサル・エレクトロニック・カウンタ
4. **-TR-108D** 現場に研究室の精密さをもたらし小型高性能のエレクトロニック・カウンタ  
周波数10cps~200 KC, 時間 100 $\mu$ s~10<sup>3</sup>s
5. **-TR-124B** オーディオ周波数, 回転数等の現場における精密測定用につくられた超小型カウンタ・デジタルペット
6. **-TR-278** **-TR-111/110/109B/108D** と連動して計数結果をただちに印字するデジタル・レコーダ



-TR-124B

-TR-108D/DD

-TR-109B/BD

-TR-110A/B/D/DD

タケダ理研工業株式会社 ・ 東京都練馬区旭町285・Tel (933) 4111 代

住友電工の

# 誘導加熱用同軸ケーブル

誘導加熱方式は、熱加工、熱処理、鍍付、溶解等広範囲な用途に使われておりますが、最近高周波の大電力容量の装置が使用される傾向にあり、許容電流の大きな、電圧降下の少ないケーブルが要求されております。

弊社では、リアクタンスの小さな同軸型の可撓性のあるブチルゴム絶縁クロロレン被覆ケーブルを製作しております。

10,000 c/s 250 A用のケーブルの

構造、特性は下記のとおりです。

## 構 造

中心導体 中心軟銅撚線

絶 縁 ブチルゴム

外部導体 軟銅撚線

外 被 クロロレン

外径 48 mm

ケーブル重量 6.2 kg/m

## 特 性

許容電流 10,000 c/s 250A

(短時間使用時の許容電流)

30分使用 390A

60分使用 295A

特性インピーダンス

10,000 c/s 11Ω

インダクタンス

κ 0.065 mH/km

静電容量 κ 680 μF/km

導体抵抗(中心導体+外部導体

κ 0.68 Ω/km

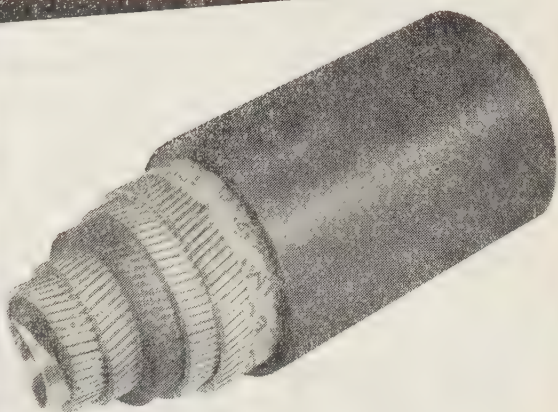
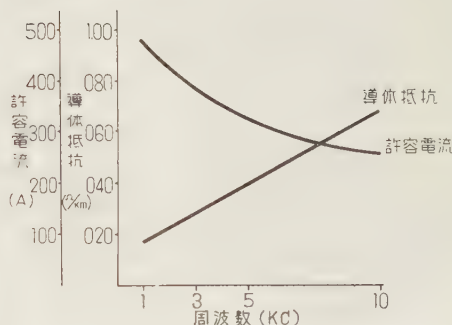
絶縁耐力 60 c/s 2,000 V 1 分間

絶縁抵抗 150 MΩ/km以上

## 特 長

1. 可撓性に富み取扱いが簡単です。
2. 館電装置が小型になり、架設、撤去が容易です。
3. 従来の平衡型母線に較べ、リアクタンスによる電圧降下は小さくなります。

なお、弊社では本品以外に10,000 c/s、313A、375A等のケーブルを標準タイプとして製作しております。



## 住友電気工業株式会社

本社 大阪市此花区恩貴島南之町 60  
営業所 大 阪・伊 丹・東 京・名古屋・福 岡



特に爆発性ガス発生のある

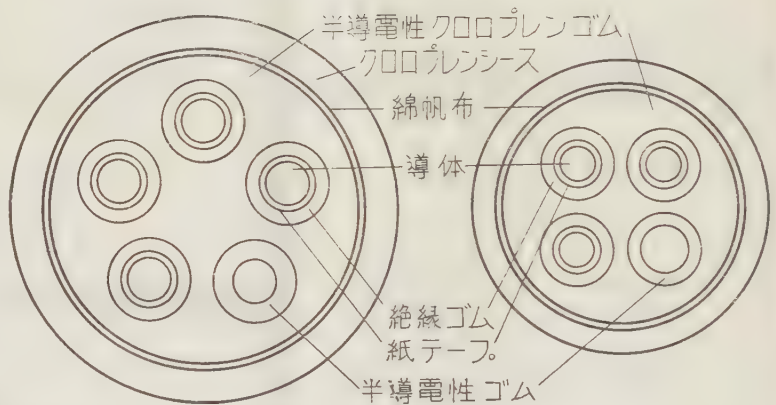
鉱山・炭坑用に

藤倉の

# 防爆型キャブタイヤケーブル

このケーブルは絶縁心線の他に、導電性ゴムを被覆した線心が1本入っており、発破作業による落石のためにケーブルが外傷を受けた場合に、接地継電器等を働かせて自動的に電源を遮断し、爆発事故を未然に防止することができます。ガスの発生する坑内の低圧移動用電線として脚光を浴びております。

をお使い下さい



防爆型キャブタイヤケーブル断面図



## 藤倉電線

本社 東京都江東区深川平久町1の4  
工場 東京・沼津  
営業所 大阪・福岡・名古屋・仙台・札幌

# SA型OFケーブル

今般弊社では、各線心にアルミ被をほどこし、これを3心撚り合わせた型式のOFケーブル（以下SA型と略称）を開発し、北海道電力株式会社殿に納入いたしました。

これは従来の共通鉛被の3心OFケーブルと比較して、次の特長があります。

（1）アルミは鉛に比し比重は1/4であり、かつ機械的強度も鉛よりはるかに大きいので、シースの厚さは薄くてよく、しかも種運搬の心配がないので、ケーブルの重量は50～60%程度に軽減することができます。

（2）ケーブル重量を軽いから、布設の際の条長を長くすることができ、接点の断数も減し得る。

（3）F&G社式セグメント導体を使用するから、導体表面は平滑となり耐電圧特性が向上し、さらに同一導体面積では導体外径が大きい、電圧降下を小さくすることが出来る。

（4）ケーブル内の絶油量が少なくなり、油槽の容量は小さくてよい。

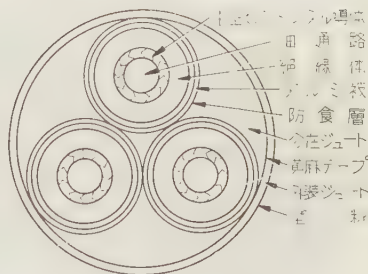
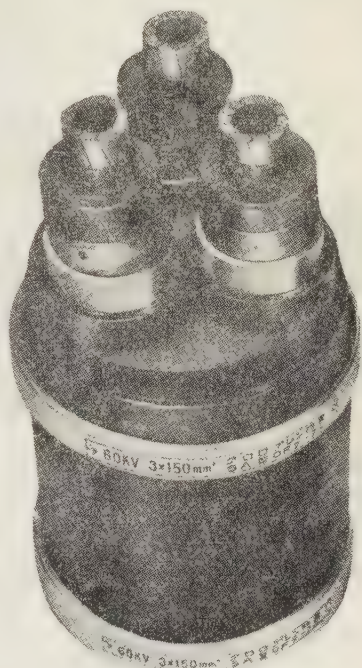
（5）万一事故でシースに孔があいても、油の漏洩量は非常に少ない。従って急傾斜地布設の如く系統油圧を高くする場合も、長日時油洩れのまま送電可能となり、油洩れ修理も適当な時機を見て行なう得る。

以上総合いたしますと、共通鉛被OFケーブルに比し、このSA型は、総建設費を低減することができ、かつ保守も容易な信頼性の高い送電線路となり得ます。

なお本ケーブルの構造の一例は、次のとおりであります。

公 称 電 圧		70kV
導 体	公称断面積	150 mm <sup>2</sup>
	形 状	セグメンタル導体
	中心油通径	12 mm
絶 縁 体 厚		8 mm
アルミ被厚		1.3 mm
防 食 層 厚		約 1.5 mm
3 心 撚 合 外 径		約 88 mm
黄 麻 テ ー プ 厚		約 2.0 mm
ジ ュ ー ト 厚		約 2.0 mm
ケ ー ブ ル 径 径		約 96 mm
概 算 重 量		13,900 kg/km

なおケーブル断面は右図のとおりであります。



## 大日電線株式会社

本 店 尼 崎 市 東 向 島 西 之 町 8 大 阪 (48) 5781 (代表)

大 阪 事 務 所 大 阪 市 北 区 梅 田 町 7 の 3 (梅 田 ビ ル) 大 阪 (36) 5551 (代表)

東 京 福 岡 名 古 屋 札 幌 仙 台

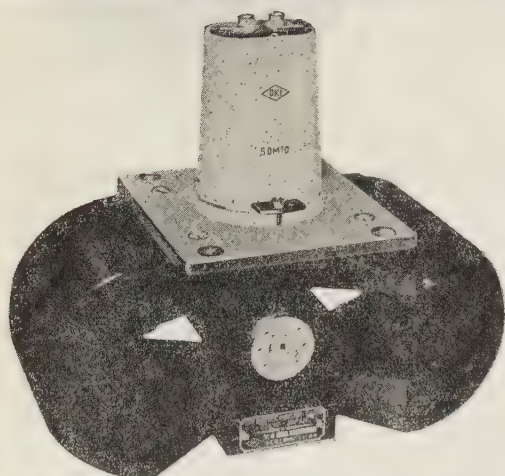


ミリ波時代を

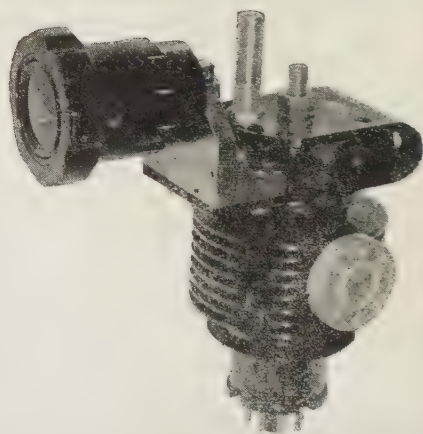
つくる・・・

沖電気工業の

ミリ波管！



マグネトロン 50 M 10



クライストロン 50 V 10

規 格

	50 M 10	35 M 10	50 V 10	35 V 10	70 V 10
波 長 (mm)	6.0±2%	8.6±1%	6～7	8～9	4～3
出力(kW/mW)	20	40	40	40	15
陽極電圧(kV)	12	13	2.3	2	3.25

このほか、24～50 Gc 帯の各種ミリ波マグネトロン、ミリ波クライストロンの製作を行っております。御相談下さい。

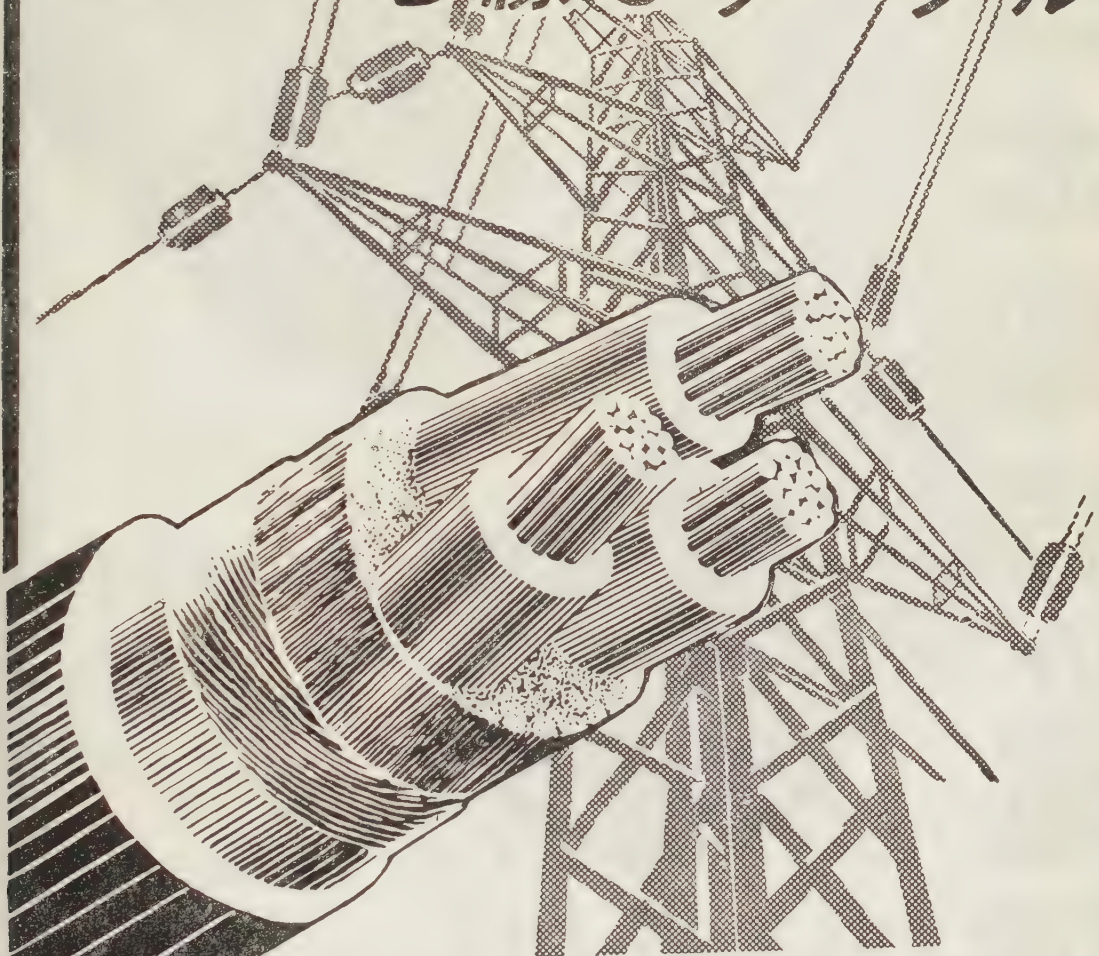
- カタログ進呈  
乞紙名記入

沖電気工業株式会社

東京都港区芝高浜町 1 0  
電話 三田 (451)2191・9271



# 高度を行く 電線とケーブル

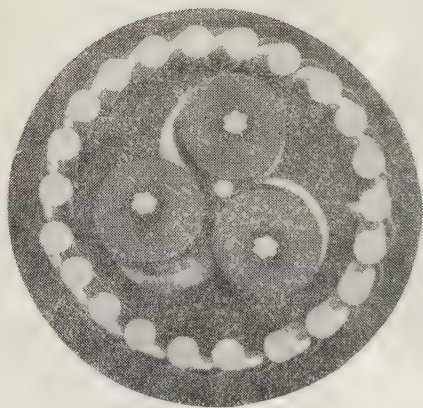
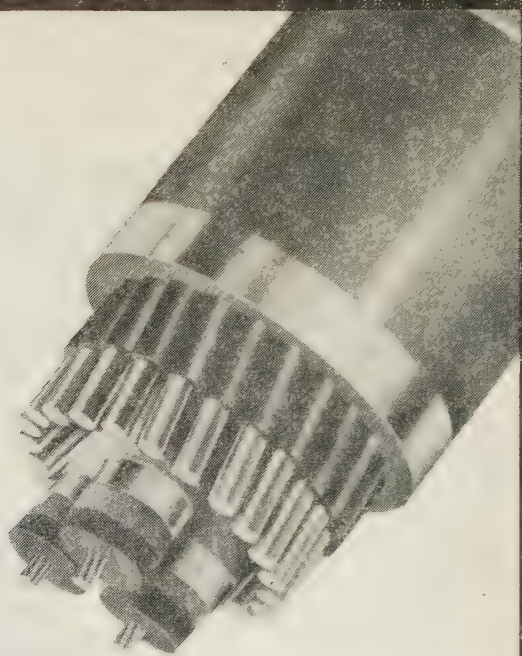


## 日本電線

本社 東京都墨田区寺島町2-8 電(611) 0101-7  
営業部 東京都中央区築地 3-10 (憩和会館) 電(541) 2021-9  
営業所 大阪・福岡・名古屋・仙台・札幌



# 西日本電線の電線電纜

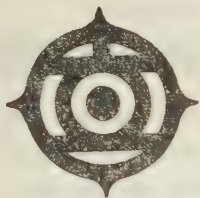


西日本電線株式会社

本社・工場 大分市大字駄原2899

営業所 東京・大阪・福岡

出張所 名古屋・小倉・札幌



## 日立電線株式会社

本社

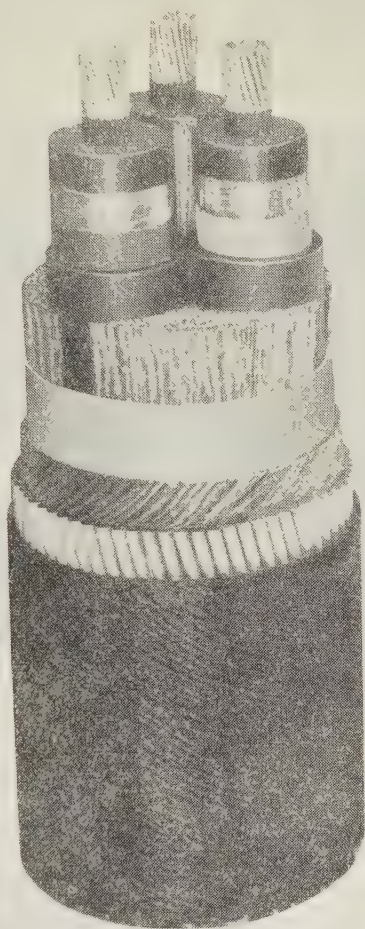
東京都千代田区丸ノ内2丁目12番地

営業所

大阪・福岡・名古屋

販売所

札幌・仙台・広島・富山



# 20kV鉄線がい装 スチルゴム水底ケーブル

日立電線では、広島県大田川放水路河口に布設する中国電力株式会社  
納20kV 3心一重鉄線がい装スチルゴム絶縁水底ケーブルを完成した。

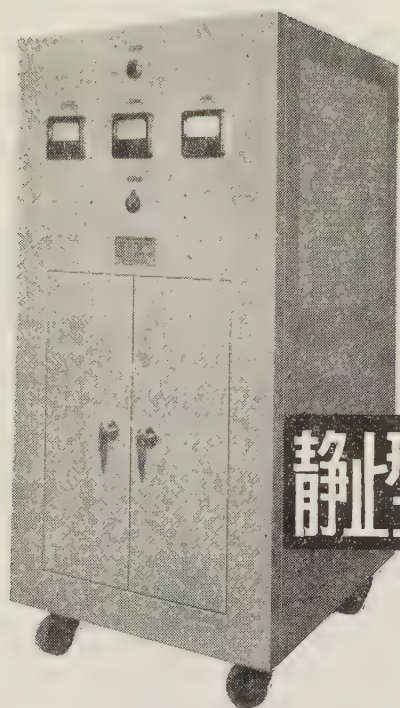
このケーブルの特長は、導体撚線間隙に特殊ゴム混和物を充填し、水  
密型の導体を使用したことで、このため事故点よりの浸水が他に波及す  
ることがなくなり、従来のように予備ケーブルを必要としない。

また陸揚部には各絶縁線心上に金属遮蔽を設け、さらに耐水性クロロ  
プレンを被覆し、乾湿をくり返す部分の電氣的、物理的保護を行なっ  
ている。このケーブルは仕上り外径が陸揚部で約140mm、重量は全長  
432m / ドラム荷造りで約15トンもある記録的超大型製品で、製造およ  
び輸送には特別の考慮が払われ、布設作業も順調に完了した。

### 主要営業品目

電力ケーブル、通信ケーブル  
プラスチック線、合成ゴム線  
綿ゴム線、巻線、裸線、アル  
ミ線、レールボンド、伸銅製  
品、電線ケーブル付属品、  
電気工事





100V 5kVA

## 静止型磁気増巾器交流自動電圧調整器

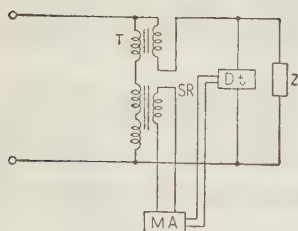
これまで種々の原理のものが考えられていますが、実用に供されている主なものは ①並列共振型 ②静止的挿入電圧加減法 ③昇減圧タップ無接点切換法の3種です。当社の方式は ②によっています。

また、MA-L型では検出装置に基準定電流装置を使用していますので、破損、劣化の懸念される部分は全くなく信頼度をますます高めています。

標準性能および製作容量

仕 様	M A - H 型	M A - L 型
出 力 精 度	100または200V $\pm 0.2\%$ (0.1%製作可能)	100または200V $\pm 0.5 \sim 1\%$
入 力 電 圧	100または200V $\pm 15\%$	100または200V $\pm 15\%$
周 波 数	50または60% $\pm \frac{1}{4}\%$	50または60% $\pm \frac{1}{4}\%$
負 荷 変 動	0 ~ 全 負 荷	0 ~ 全 負 荷
負 荷 力 率	遅 れ 6 0 %	
波 形 歪 率	5 % 以 内	5 % 以 内
応 答 時 間	0.2 秒 以 内	0.4 秒 以 内
標 準 製 作 容 量	100.200.300.500V A 1.2.3.5.10K V A	3.5.10.20.30K V A
検 出 器	定 電 圧 放 電 管	磁 気 式 定 電 流 装 置

回路図



T : 昇圧変圧器

MA : 磁気増巾器

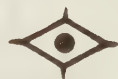
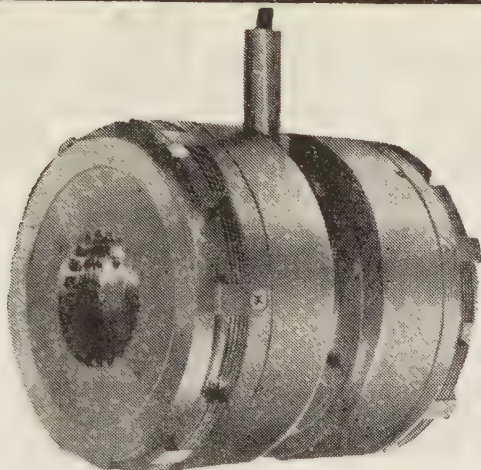
SR : 可飽和リアクトル

Dt : 検出器

AVRの総合専門メーカー

済美電気株式会社

東京都 世田谷区 代田1の353 TEL 414局 5156 (代表)



# 神鋼

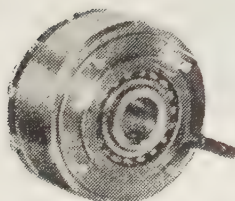
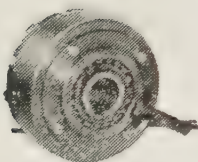
小型湿式多板

## 工作機械、産業機械の 自動化と能率向上に 電磁クラッチ 電磁ブレーキ

電磁クラッチ ブレーキ コンビネーション

### ■特長

- 寸法最小……最小の寸法で最大のトルクを発揮させます
- 残留トルク 1% 以下……独特の設計により残留トルクを画期的に少なくしました
- 刷子不要……装備並びに保守が容易です
- 調整永久不要……取付後の調整は一切不要です
- 取付簡単……取付部の歯切・加工を要しません



小型乾式多板電磁クラッチ・ブレーキも製作いたします。その他1000KW以上の大容量の電磁クラッチまで各種の豊富な型式を擁しています。



## 神鋼電機株式会社

本社 東京都中央区西八丁堀 1 の 4  
営業所 東京 大阪 名古屋 神戸 小倉 広島 札幌 富山



# 小形で、最高の性能

100, 150, 200 kVA

## 日新 PRT形

高压進相用

## OF式コンデンサ

3.3kV 3φ 60%  
100 kVA

### 据付面積の縮小!!

PRT形高压進相用OF式コンデンサは、円筒形タンクの採用により、容器の耐圧力が著しく増大し、コンデンサの施設面積においては従来の形式のものより、約20%の減少をみる画期的な製品であります。

弊社では標準品として100, 150, 200 kVAの小容量の製品に本方式を採用し、性能の優秀性と価格の低廉と相まって好評を得ております。

3.3kV 3φ 60%  
200 kVA



## 日新電機株式会社

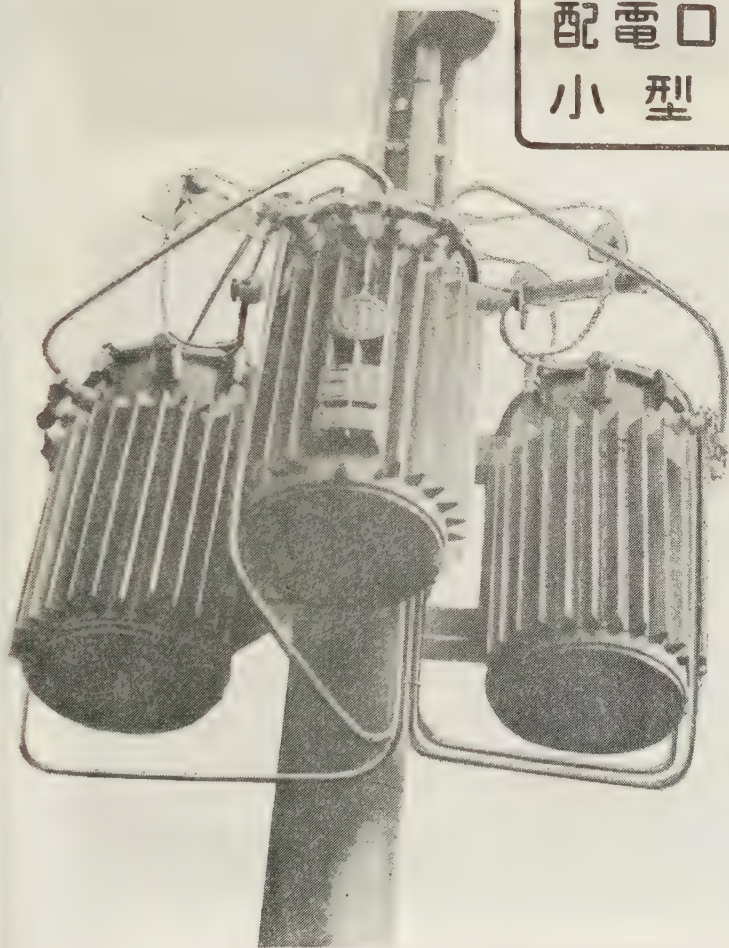
本社・工場 京都市右京区梅津高畝町20番地 電話京都(86)1131(代)  
東京支社 東京都千代田区内幸町2丁目1番地(大阪ビル1号館6階) 電話東京(591)9211(代)  
大阪支社 大阪市北区堂島浜通1丁目25番地(新大ビル7階) 電話大阪(36)7831(代)  
名古屋営業所 名古屋市中村区笹島町1丁目1番地(新名古屋ビル北館4階) 電話名古屋(55)7015  
出張所 札幌・仙台・富山・広島・福岡・八幡・高松 7423



# 巻鉄心型変圧器

— 特 長 —

配電ロスの軽減  
小型・軽量



交・直流アーク熔接機  
ユニオンメルト自動熔接機  
ヘリアーク・シグマ熔接機  
スタッド熔接機  
自動治具熔接装置

及

軟 銅・合金 銅  
ステンレス・銅 合金  
軽金属熔接用各種ワイヤー  
標準変圧器  
大型変圧器  
巻鉄心変圧器  
ネオン変圧器  
各種変圧器

## 大阪変圧器株式会社

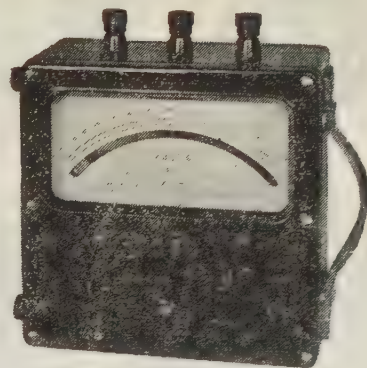
本 社  
東京事務所  
九州営業所

大阪市東淀川区元今里北通 3 の 14 電話(代表)大阪 ③ 3451・4951  
東京都千代田区丸の内 2 の 2 (丸ビル) 電話東京 ② 821~3・4562~3  
福岡市天神町 6 1 (渡辺ビル) 電話 福岡 ④ 4735~6

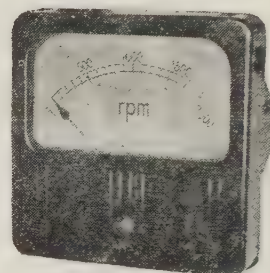


# 品質を誇る 東洋の計器

- ☆ 品質管理用に
- ☆ 配電盤の信頼性向上に
- ☆ 機器の品位向上に
- ☆ 生産の合理化に
- ☆ 保守の簡素化に



AP-5 型

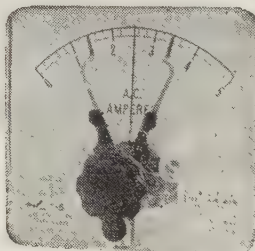


CRf-135 型

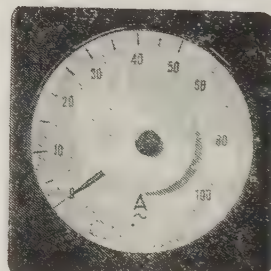
(カタログ進呈)



ARK-100 型



強圧式メーターリレー



VRf-110 型

電気計器・工業計器・測定器・メーターリレー  
電気式回転計・メガー・抵抗器・テスター



日本工業規格表示許可工場



東洋計器株式会社

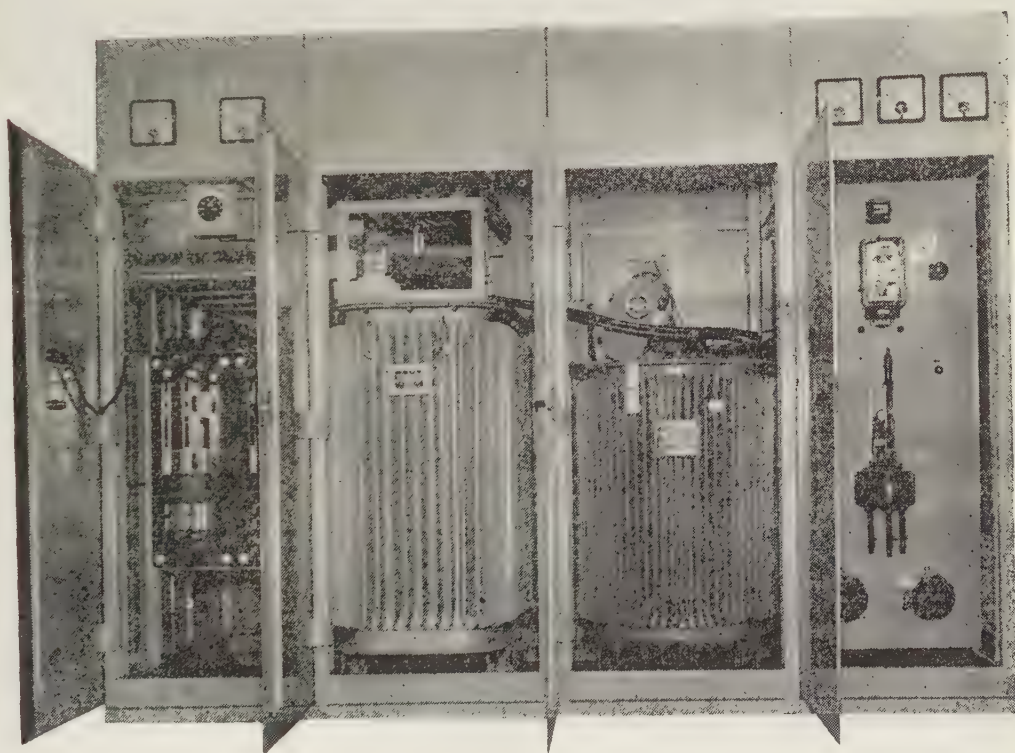
本社 大阪市南区南炭屋町 11 電話 (75) 3576~7・2460  
東京営業所 東京都渋谷区恵比寿通り 2 の 13 電話 白金 (441) 3643

**セレン整流器**

**Sansha**

**ゲルマニウム整流器**

**シリコン整流器**



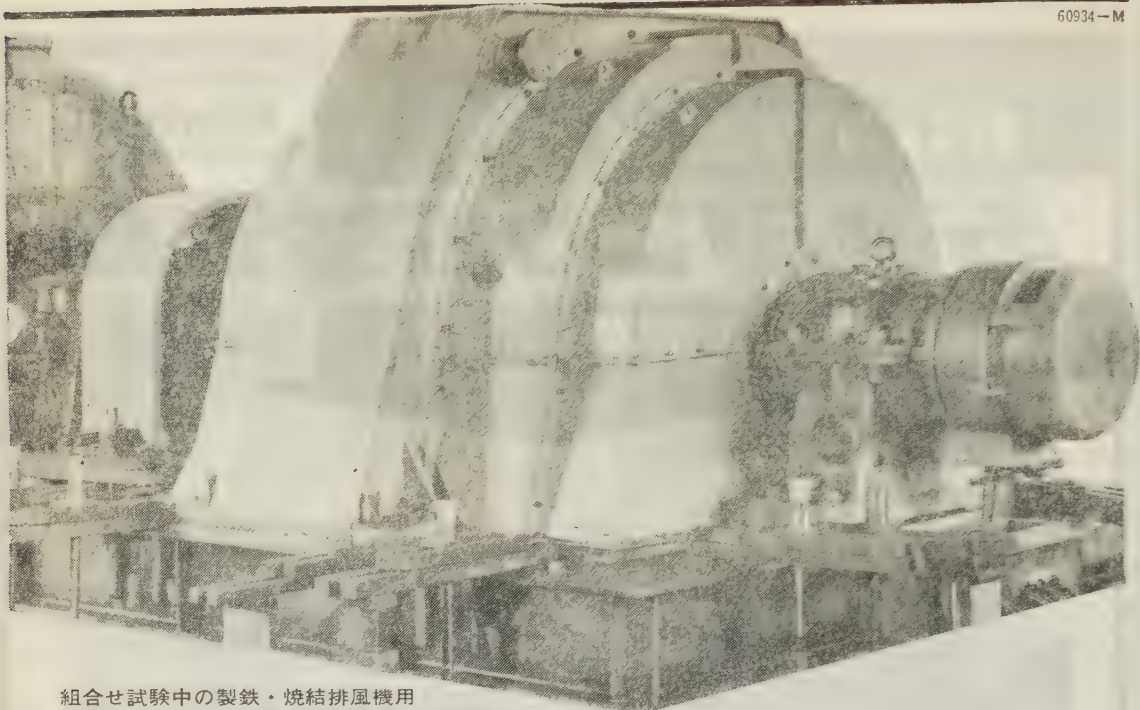
風冷式ゲルマニウム整流器



**株式会社 三社電機製作所**

本社・工場 大阪市東淀川区淡路本町1の150 電(37)6636-9  
東京出張所 東京都港区芝罘平町30 電(501)9941-2





組合せ試験中の製鉄・焼結排風機用  
3,200kW 6極大形高速度同期電動機(本邦記録品)

## 高速分野に進出する!

ターボプロア・ターボ圧縮機・ポンプなどの高速・大容量化に応じて、画期的構造をもったソリッドポール形同期電動機を開発し、同期機の応用分野をさらに広めました。

- ポール・シャフトに強度のすぐれた鍛鋼材を使用し、高速度にもとづく遠心力・振動などに対して、信頼度が高い。
- 起動巻線を省き、塊状磁極面のうず電流を有効に利用するので、起動巻線にもとづく故障がない。
- 絶縁にはとくに考慮を払っており、ガス・ダストが多い場所でも使用できる。振動に対しても機械的・電氣的に強度も増し、故障のおそれがない。



# 安川 ソリッド ポール形 同期電動機

株式会社 安川電機製作所 重電機営業本部 東京都千代田区大手町大手町ビル 電話 (201) 2511  
本社 八幡市 工場 八幡市・行橋市 営業所 東京・大阪・名古屋・札幌・福岡・高松・富山・新潟・広島・仙台

電動機・変圧器・リレー *etc,*  
 凡ゆる捲線に! 全数検査OK!!

## PULSE 応用 WINDING INSULATION TESTER



サージ電圧テストのない機器を安心して御使用になれますか?

各メーカー必携の試験器です。

### 性 能

1. CRT 観測用 5 UPIF
2. SURGE 0~18 kV, 0~4 kV, (P.P) 0~1.5 kV の3種
3. 測定感度 約 0.1 mH
4. 単相, 3相何れも試験可能。  
但し3相の場合は外付セレクトアーススイッチが必要です。
5. 電源 単相 90~100 V 50~60 c/s  
約 330 VA
6. 寸法 490×685×634 mm,  
重量 約 70 kg
7. 側板取外しサービス容易

### その他の主要製品

高周波加熱装置全般, 各種ストロボスコープ, 電子管式自動平衡機器, 各種自動撰別機, AC, DC 自動電圧調整器 (30 kV まで)

## 大阪光音電気株式会社

大阪市福島区海老江上4の19 電話大阪(45)6113・3184番



製造品目

(OF式・DF式)  
高圧進相用  
低圧進相用  
モーター起動用  
有線・無線通信機用  
テレビ・ラジオ用  
雑音防止用  
家庭電機機器用  
直流高圧発生装置  
衝擊電圧発生装置  
衝擊大電流発生装置

工業標準化優良

が



40余年の伝統に輝く



良工場  
生む



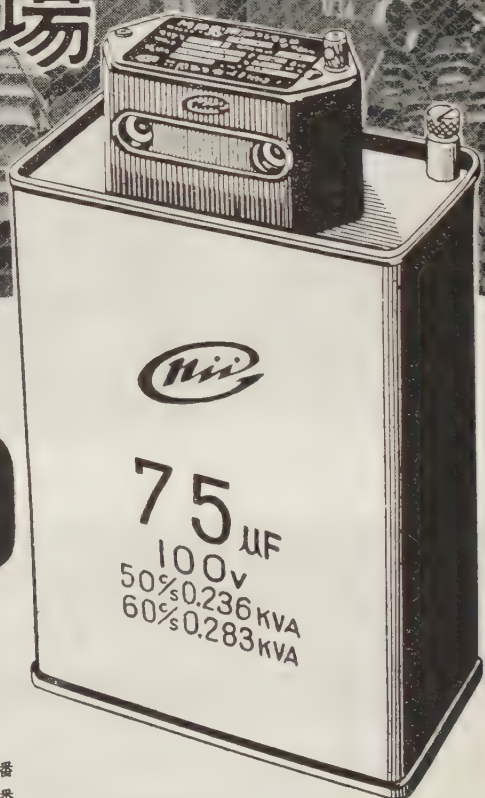
(進相用特高圧コンデンサ)  
22,000V 60% 3φ 6,000kVA群

オイル・電解・MP・セラミック・タンタル・マイカ・マイラー

関西二井の  
コンデンサ

関西二井販売株式会社 本社・京都

東京営業所・港区芝浜松町4丁目1番地の9(電)@4035~6・5292・5344・4503番  
名古屋営業所・中区桜町1の12石原ビル(電)@3451・4117番  
大阪営業所・北区茶屋町37番地(電)@2496~8・1872・2868・5449・6849番  
九州駐在所・福岡市外二日市旭町1097(電)二日市52番



進相低圧コンデンサ

株式会社 関西二井製作所

# 超小型 高性能

多年の研究により、  
増々高性能を発揮  
する多摩川精機の  
シンクロは、あら  
ゆる産業の自動化  
に活躍しておりま  
す。

400%, 60%共、  
各仕様により選択  
できるよう、多種  
類規格化されてい  
ます。



(主要型式標準特性)

シンクロ

シンクロレゾルバ

型 式	15TR4	18TR4	23TR4	15CX4	18CX4	23CX4	15CDX4	18CDX4	23CDX4	15CT4	18CT4	23CT4
特 性												
励磁電圧(V)	115	115	115	115	115	115	90	90	90	90	90	90
周 波 数(Hz)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
一 次 電 流(A)	110	240	510	67	96	230	47	100	160	13	5	6
二 次 電 圧(V)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	57.3	57.3	57.3
一次直流抵抗(Ω)	58	21	6.8	100	67	17.6	142	49	199	620	1230	776.4
二次直流抵抗(Ω)	55.6	18	6.1	76	45	14.4	136	56	17.6	304	555	235
一次インピーダンス(Ω)	1875	479	224	1720	1198	487	2210	1022	670	7830	22500	20590
二次インピーダンス(Ω)	795	398	200	1080	818	375	2500	1161	770	3850	11320	9160
ロータ慣性モーメント(g-cm <sup>2</sup> )	16	29	150	14	27	98	15	28	98	12	27	96
残留電圧(%)	—	—	—	100	70	28	75	90	50	30	20	20
静止摩擦トルク(g-cm)	—	7	14	3.5	7	14	3.5	7	14	3.5	7	14
トルク遅延率(%)	1.42	4.5	12.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
温度上昇(°C) (低圧法)	40	12	50	20	12	25	14	12	25	2	4	5
電気誤差1級	12'	8'	8'	12'	8'	8'	10'	8'	8'	10'	8'	6'
電気誤差2級	24'	16'	16'	24'	16'	16'	20'	16'	16'	20'	16'	12'
角度誤差1級	60'	60'	60'	—	—	—	—	—	—	—	—	—
角度誤差2級	90'	90'	90'	—	—	—	—	—	—	—	—	—
重 量(kg)	0.15	0.26	0.6	0.15	0.26	0.6	0.15	0.26	0.6	0.15	0.26	0.6

型 式	15RS4	23RG4
特 性		
電 圧(V)	26	26
励磁周波数(Hz)	400	400
一 次 電 流(A)	10	53
一 次 電 圧(V)	0.07	0.173
一次インピーダンス(Ω)	610+j2570	63.4+j491
二次インピーダンス(Ω)	130+j570	56.9+j545
変圧比、二次/一次	0.445	0.996
変圧比、均等性	0.002	0.001
変圧比、変化	0~50(V) 0.0018	0~30(V) 0.0031
移相差、一次/二次	3°50'	1°20'
移相変化、電 圧	0~50(V) 1°10'	0~30(V) 16'
移相変化、回 転	0~180° 23'	0~180° 30'
残 留 電 圧(%)	0.1	0.1
軸 直 交 性	90±5'	90±5'
正 弦 波 誤 差(%)	0.1	0.1
開 閉 誤 差	5'	5'
摩 擦 ト ル ク	5	14
重 量(kg)	0.15	0.6

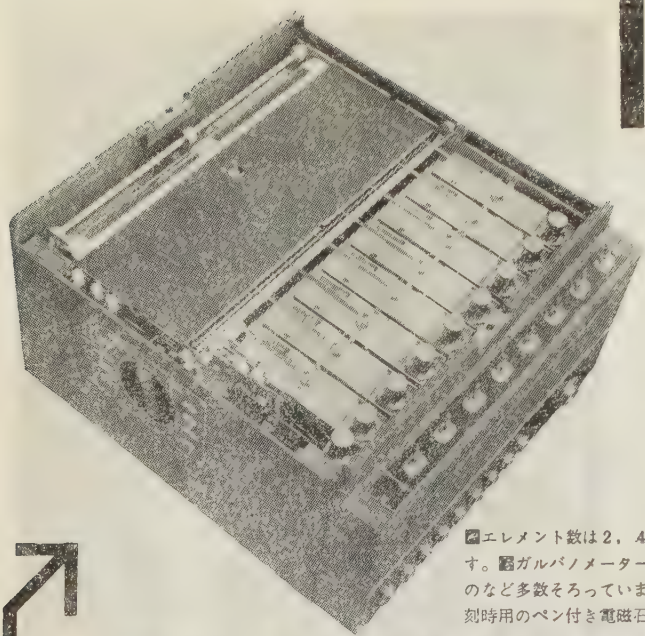
## 多摩川精機株式会社

本 社 東京都大田区古川町 173 電話 (731) 2131 代表  
工 場 長野県飯田市上飯田1879 電話 (飯田) 3131 代表

### 主 要 製 品

シンクロ ステップモータ  
シンクロレゾルバ 電磁クラッチ  
サーボモータ(A・C・D・C) ジャイロ  
サーボモータジェネレータ サーボボード  
レートジェネレータ シンクロ試験器  
シンクロサスモータ シンクロ指示計  
ブローモータ 自動制御用各種装置





# 150 c/s までの

広範囲な電気現象を

精密に  
容易に  
低廉に  
記録する

インク書きオシログラフ

IR-201型

■エレメント数は2, 4, 6, 8の4種類で最大振巾±25mmのときは6エレメントまでです。■ガルバノメーターは最高150%の周波数特性のものおよび0.7mA/cmの高感度のものなど多数そろっています。■記録速度は電氣的に広範囲に切換えられます。■信号用と刻時用のペン付き電磁石装置を備えています。■リモートコントロールが可能です。

## INK WRITING OSCILLOGRAPH



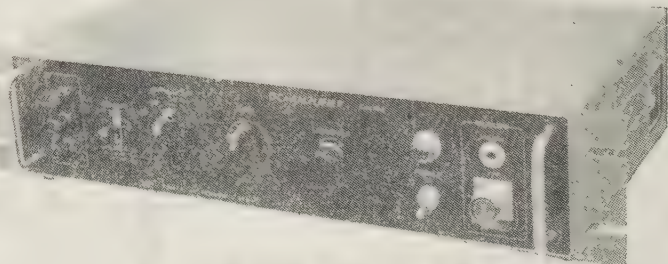
### 三栄測器株式会社

本社 東京都新宿区柏木1-9-5 Tel (371)7117-8, 8114-5  
工場 東京都武蔵野市吉祥寺1635 Tel (022-②)4941, 7825

## DC AMPLIFIER

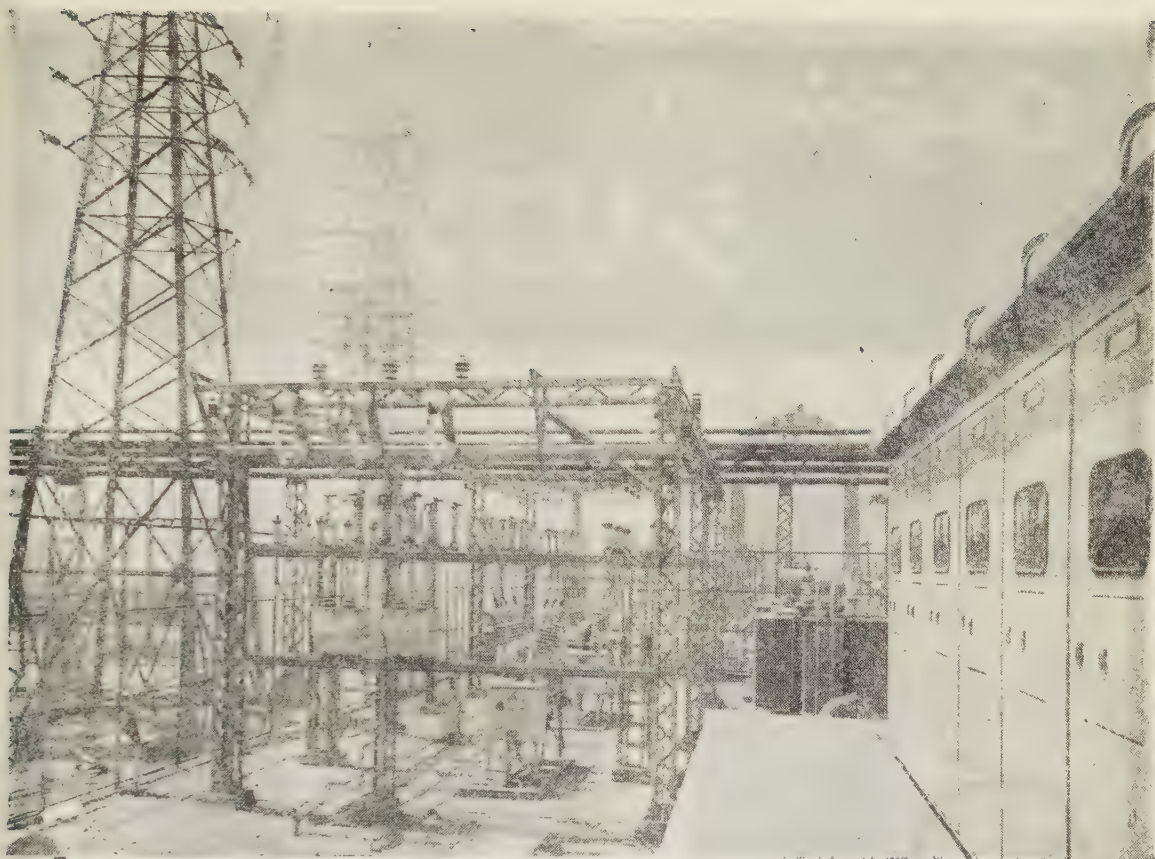
直流増幅器 DA-103型

- ★ 理・工・医のあらゆる分野における測定と解析に好適
- ★ インク書きオシログラフと電磁オシログラフのいずれにも組合せられる
- ★ 高感度
- ★ 電池不要
- ★ 電源電圧変動の影響をほとんど受けない
- ★ 操作簡便
- ★ ラックパネル式の構造で通信用標準架台に組込める
- ★ 低廉な価格



### 主要製品

インク書きオシログラフ、電磁オシログラフ、二現象ブラウン管オシロスコープ、ブラウン管連続撮影装置、直流増巾器、至記録増巾器



最近設備投資が増加している折柄、多くの産業で受電設備がセットで使用されています。

すぐれた技術が優秀・堅牢・安価な製品を生みアフターサービスの行きとどいた立正の受電設備を御利用下さい。

なお詳細は下記営業所代理店に御問合せ下さい。



株式  
会社

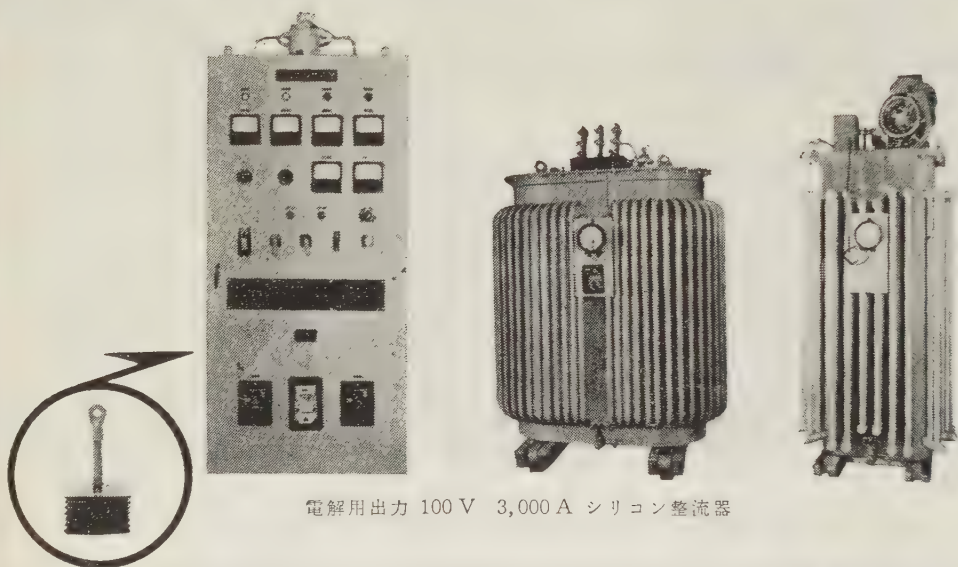
**立正電機製作所**

本社及工場	京都市南区吉祥院中島町4	TEL (5) 9176
東京支社	東京都千代田区内幸町2の1 (高千穂ビル3階)	TEL (591) 4451~3
大阪営業所	大阪市北区堂島船大工町15 (堂栄ビル2階)	TEL (312) 3938
仙台営業所	仙台市国分町174 (富国生命館4階)	TEL (3) 1583
広島営業所	広島市的場町144 (円道ビル2階)	TEL (4) 8919
九州営業所	福岡市大名町2の98 (大名町ビル2階)	TEL (5) 2210
株式会社茂川電機商会札幌支店	札幌市北三条東2丁目	TEL (3) 3712
日東興業株式会社	東京都千代田区有楽町1の3	TEL (591) 8510~3
株式会社堀内商会	金沢市下堤町65	TEL (3) 4866~7
菱電社	新潟市礎町通二ノ町	TEL 4417・3707
古庄電機商会	名古屋市中区新栄町7の3	TEL (9) 2781~2
東邦電機株式会社	名古屋市中村区広井町3の98	TEL (54) 7633~4
安宅産業株式会社	大阪市東区今橋5の14	TEL (26) 7691・8233
入江商会	大阪市北区堂島上1の10	TEL (34) 2956~9
明光商会高松駐在所	高松市玉藻町1の812	TEL 2694



Origin の

# シリコン整流器



電解用出力 100 V 3,000 A シリコン整流器

オリジン電力用シリコン整流器は、単結晶半導体の果し得る理想的な直流変換装置でオリジンが擁する卓越した半導体技術者が優れた技術と最新の設備によって完成した特性・品質・信頼性ともに斯界随一の性能をそなえています。

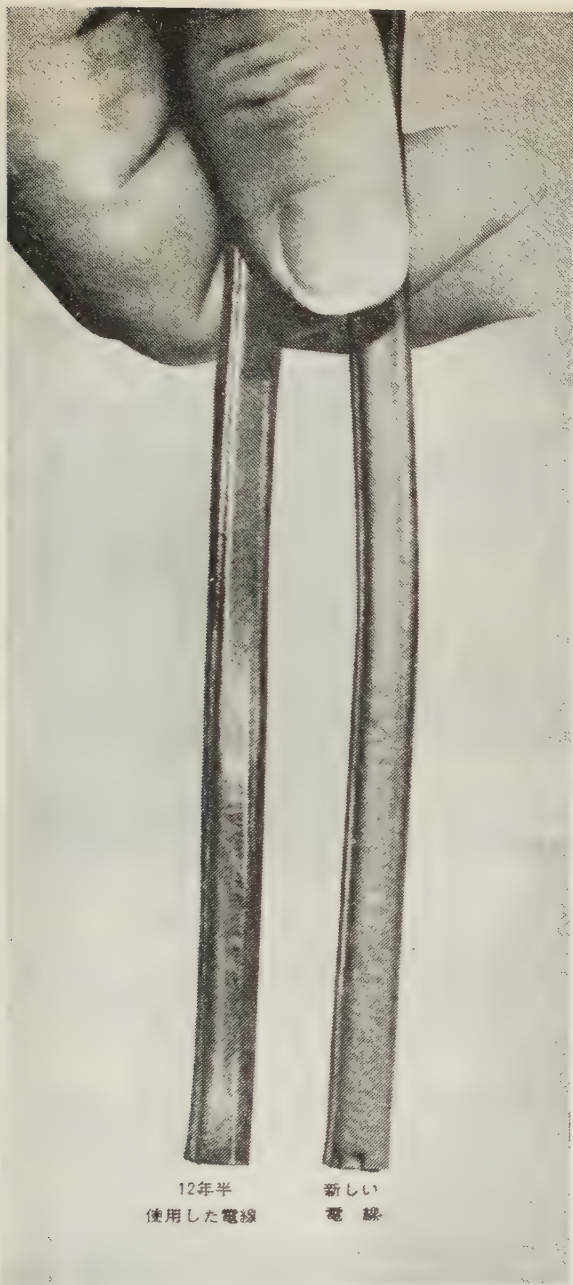
## 営業品目

シリコン・ゲルマニウム・セレン整流器・セレン光電池・  
ホール大電流計・スポット溶接機・合成樹脂塗料



# オリジン電気株式会社

本社・工場 東京都豊島区高田南町 1-195 電話 東京(982)1161(代)3155(代)  
トウキョウカニウ (22) 4 6 8  
大阪営業所 大阪市福島区上福島南 1-47 電話 大阪 (45) 2 4 0 5 (代)  
オウサカ カニウ (38) 3 8 3  
福岡出張所 福岡市下鰯町 10 電話 福岡 (2) 6 8 8 3



12年半  
使用した電線

新しい  
電線

# DU PONT NEOPRENE



化学を通じ…より良き生活のため、より良き製品を

## どちらの 電線が新品で…… どちらが12年半も 使用されたものか おわかりですか？

左の写真に示されている二本の電線は、定評のある合成ゴム、デュポン製ネオプレンで保護被覆したものです。左側に示されている電線は12年半も（米国北カリフォルニアで）戸外に曝されていたものですが、右側に示されている新しい電線と見た目も同様で、同じように使用することができます。

これはデュポン製ネオプレン被覆の電線を使用することによって得られる利益です。ネオプレンの保護は完全です。ネオプレンは老化、天候および日光による劣化に耐えます。さらに、ネオプレンは化学薬品、摩擦、けずり取り、亀裂および衝撃に素晴らしい耐性を有しています。また、油、グリース、熱および炎に耐抗します。ネオプレンは燃焼を助長しません。

ネオプレン被覆の電線およびケーブルの詳細につきましては、いつも電線をお求めになっている販売店または下記代理店におたずね下さい。なお資料に関しましてはクーポンをご利用下さい。

製造元 E. I. du Pont de Nemours & Co., (Inc.)  
Wilmington, Delaware, U. S. A.

DU PONT 日本代理店	
アメリカン・トレーディング・カンパニー	
(ジャパン) リミテッド	
東京都港区芝公園7号地の1 SKFビル 電話(431)5140-9	
大阪市南区安堂寺橋通り 2の47 電話(26)6593-8	
(御 芳 名)	
(御 社 名)	
(所属部署)	
(御 住 所)	
このクーポンをお切り取りの上、上記代理店宛お送り下さい。	
資料を差し上げます。"Jour. Elec. Engr." - 11/60-J	



満5ケ年と  
実績2万余台に  
成長した

# ミキオン 3Eリレー

特許 218736

実用新案1件

出願済

— 3相平衡過負荷, 3相不平衡過負荷, 単相, 逆相電流保護 —

## ◆低圧電動機保護に 3E-25型 を!!

定限時々限 25 秒 (於限時調整 No. 25) で動作時限を長時間に改良したと同時に**限時調整装置付**としましたから起動時間の長いモータにも, 短いモータにも調節が自由になりました。起動電流は漸減しますから起動時間 40 秒程度のモータにも適用できます。

## ◆高圧籠形電動機保護に 3E-35型 を!!

定限時々限 35 秒 (於限時調整 No. 10) で高圧及び低圧大型の籠形モータで駆動される大型送排風機等の起動時間の長いものに好適で, **限時調整装置付**ですから起動時間の短いモータにも適用できます。

## ◆高圧巻線形電動機の保護に 3E-2型 を!!

定限時々限 2 秒 (於限時調整 No. 10) で高圧及び低圧大型の巻線形モータ, 整流子モータに好適, **限時調整装置付**ですから高圧受配電, 変圧器用にも適用できます。

## ◆数々の表彰

3E-25型 解部大臣賞

ミキオン 3E リレーは科学技術庁長官より輝く **実用発明のタイトル** を, 第8回東京都優秀発明展覧会に於て **優秀賞 (都知事賞)** を受賞し, 昭和 33 年度全国発明表彰に於て **発明賞** を受賞しました。又昭和 34 年度 **渋沢賞** を授与されて, その優秀性を認められています。

## ◆ミキオンの呼称について

弊社の 3E リレーは数々の表彰をうけるだけの優秀な性能を有していますので, 他のもものと区別するため商標登録された **ミキオン** の愛称を冠して **ミキオン 3E リレー** の名称でおすすめることになりました。

## ◆その他の製品

ミキオン 3ESP リレー, 5.5kW 以上のスターデルタ電動機の保護継電器

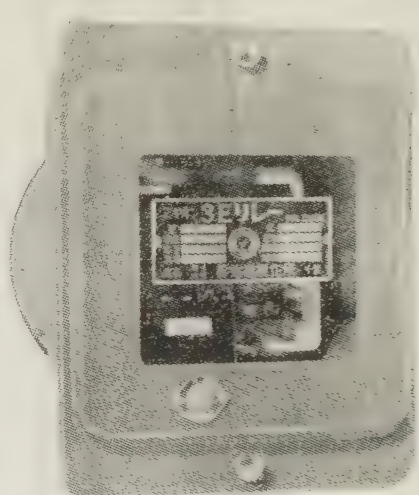
ミキオン SPP リレー 1F 型, 動作表示器 1 個付の単相運転防止継電器

3F 型, 動作表示器 3 個付で, どの相が断線したかを表示する単防リレー

ミキオン GSP リレー 集団運転電動機欠相保護用

ミキオン 低水位警報継電器, 深井戸ポンプ制御用

ミキオン 液面制御継電器, 給排水用



株式  
会社

# 幹 電 機 製 作 所

東京営業所 東京都千代田区神田和泉町 1-8 電話 東京(866)0937・(851)9226  
本社, 工場 千葉県千葉市登戸町 2-165 電話 千葉(2) 1873・5550  
成東工場 千葉県山武郡成東町字辺田 電話 成東 1 4 7

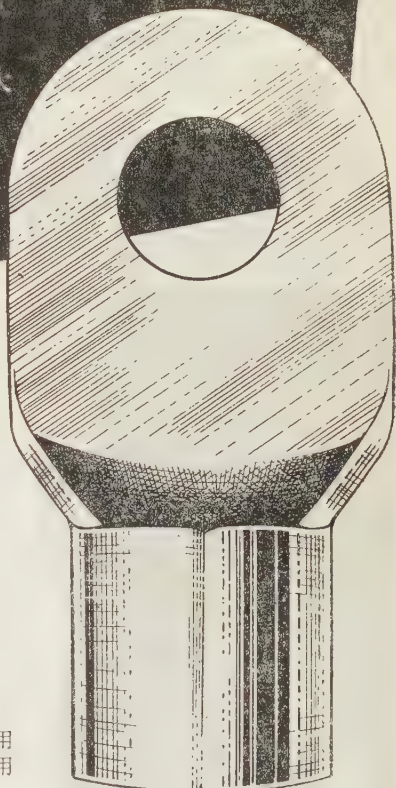
こんな小さなものから...  
こんな大きなものまで...

電線サイズ  
0.25 mm<sup>2</sup>

**AMP**

原寸大

**無半田圧着端子**には  
15,000種もあり、あらゆる  
電気結線の問題を  
完全に解決いたします。



電線サイズ  
325 mm<sup>2</sup>



ソリストランド



P.G.



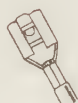
P.I.D.G.



D.G.



旗型



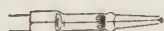
ファストン



アルミ線用



耐熱用  
高温用



テーパ  
テクニック



プリント配線用



シールドワイヤ用



アンプリバー



ストリップ  
ターミナル

上記各種端子の圧着用工具として、  
手動工具から圧搾空気式、油圧式、  
電動式、自動圧着機まで各種取揃  
えてあります。これを用いれば誰  
でも簡単に完全な電気結線ができ  
ます。

日本総販売店

**東洋端子株式会社**

資本金 四億円 取締役社長 本田 敬之  
東京都中央区日本橋江戸橋3-2第二丸善ビル  
Tel. (201) 9231代表

営業所：大阪・名古屋・福岡 駐在事務所：札幌

製造

**日本エー・エム・ピー株式会社**



# 科学技術 文献速報

JEST

A 4 判 全シリーズ半月刊  
36年版 (36. 4~37. 3)

本書は、海外44か国、約2,500種の理工学の全部門にわたる、最新の逐次刊行物に掲載された主要な論文の日本語による抄録を、部門別に、体系的に編集したもので、掲載された論文の原文は、即刻、複写(あるいは翻訳)によってお届けできます。35年版からは、年間索引がつきます。

## 36年版予約募集中

### 1) 電気工学編 Vol. 4

毎号平均論文数	600件
平均頁	85
一部定価	¥ 300
年間予約定価	¥ 7,500

原文がすぐご覧になれる  
海外文献抄録誌

各種内容見本進呈

		毎号平均 論文数(件)	年間予約 定価(円)
2) 化学・化学工業編	Vol. 4	2,400	10,500
3) 工学一般・機械工学編	"	1,200	9,500
4) 金属工学・鉱山工学・地球の科学編	"	800	7,500
5) 土木・建築工学編	"	800	7,500
6) 物理・応用物理編	Vol. 3	800	7,500

#### 特 長

- I 世界中の重要な論文は、漏れなく収録されています。
- II 早く文献をご覧になれます。
- III 経費と時間が大幅に節約できます。
  1. 数百種の外国雑誌をお手許にしているのと同じです。
  2. 日本語抄録によって、忙がしい人も早く世界の情勢を知ることが出来ます。
  3. 抄録の作成や分類等の手間が省けます。
  4. 必要な論文が、簡単に、早く、漏れなく選択でき、複写によって、その原文をご覧になれます。

特 殊  
法 人

### 日本科学技術情報センター

東京都千代田区一番町 15-5  
電話 東京 (331) 5135~9 (代表)  
大阪支所 大阪市北区玉江町 2-2  
K.K 大阪国際貿易センター3階  
電話 大阪 (44) 9131~7 (代表)

■大阪支所

その他の出版物などについて  
は、お問い合わせ下さい。  
資料をさしあげます。

電動機が過負荷、単相運転になると直ちに自動遮断する!!

# (特許・実新出願済) 渦巻式熱動型過負荷継電器 (単極式)

## 新製品 略称 **SOCリレー** 温度補償装置附

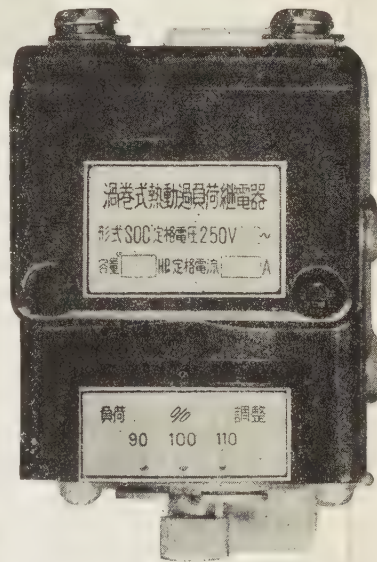
過負荷電流保護、単相運転防止、内部故障による主捲線輪の焼損防止。

### SOC リレーについて

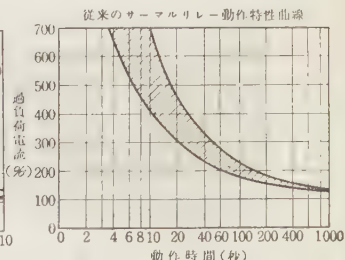
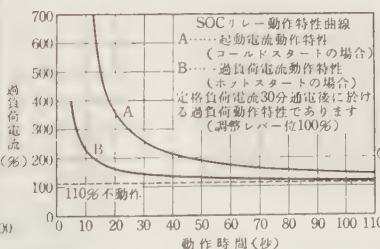
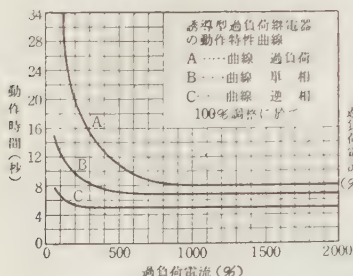
一般、熱動型過負荷継電器の動作特性は、標準品は熱曲線を採用しておりますが、SOC リレーの動作特性は、巻線式熱動型を採用しておりますので、動作特性が非常に正確鋭敏であります。それは過負荷電流の増加に伴って、動作時間が短縮されるという特性であります。優秀なる誘導型過負荷電流保護特性と十分比較し得ると断言いたします。本器は起動性、動作性、確実性、簡易性、調整性、経済性にすぐれた継電器として確信して発売することになりました。どうかこのすばらしい製品をお試ください。

### SOC リレーの主なる特徴

- ① 起動特性 一般熱動型と異なり、動作時間限 10 秒以内が有りますから、特殊電動機を除き普通電動機に適合する過負荷保護に最適であります。
- ② 動作特性と保護効果 過負荷電流の 110% まで過電流では不動作である。電機焼損事故の原因とされる、半導電率の過電流は 170% まで流れます。この 170% 過電流に対し動作時間は 15 秒で動作し、100% 過電流で動作時間は 12 秒で確実に動作しますから、単相運転防止、過負荷防止、内部故障防止に十分効果を発揮いたします。
- ③ 温度変化に影響されない 巻線式熱動型を採用しているから、船舶の様な航海地点により周囲温度の急激な変化による動作特性の偏差がほとんどないという優れた保護特性である。
- ④ 電流調整 SOC リレーは、過負荷電流の調整範囲を拡大して採用。電流調整は定格電流の上下 10% まで調整出来ます。過電流による過電流による動作も可能。また (開路式) も動作いたします。
- ⑤ 過電流対量大である 巻線式熱動型を採用しているから、巻線式熱動型と異なり、動作特性と動作特性の一致が非常に高く、また巻線式熱動型と異なり、過電流の急激な変化による動作特性の偏差がほとんどないという優れた保護特性である。
- ⑥ 電流量の変更が簡単に出来る SOC リレーはヒーターの代りに飽和変流器を併用するため一次線の巻替で簡単に変更が出来る。20 HP 以上 50 HP までは一次側貫通で使用できますから経済的であります。



動作特性の比較 従来のサーマルリレー、誘導型過負荷継電器、SOC リレーの 3 つの動作特性曲線により比較して御理解願えれば幸甚であります



電気計器・継電器・変成器

カタログ進呈



## ヒライ電計機株式会社

本社工場 京都市下京区中堂寺北町 28 電話壬生 (84) 1912・2428 番  
第二工場 京都市右京区山ノ内山ノ下町 2 電話壬生 (84) 9 6 5 0 番  
第三工場 京都市中京区壬生高樋町 8 (継電器工場)



# 日測電子の

## デジタル計測器

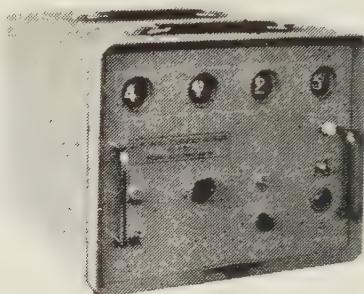
(各種エレクトロニックカウンター)  
カタログ贈呈

周波数

回転数

時間

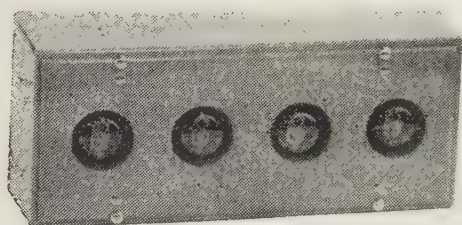
### PS-301



デジタル周波数 / 回転数計

### PS-302

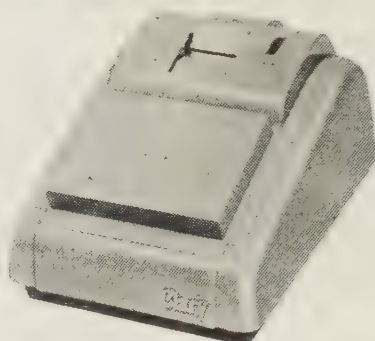
速隔  
表 示



リモート インジケーター

記録

### 4C-4R



デジタル プリンター

NISSOKU

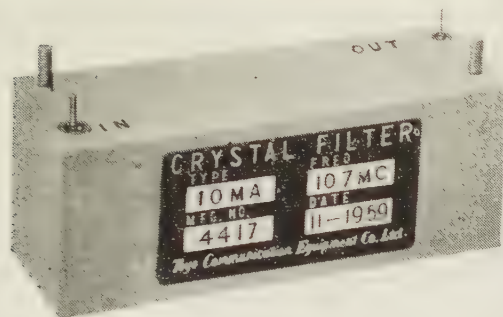
## 日測電子工業株式会社

東京都港区芝金杉浜町70 TEL (451) 1815



新製品

# 10.7MC SERIES STANDARD CRYSTAL FILTERS



## APPLICATIONS

AM. FM. SSB RECEIVERS  
DOPPLER RADAR SYSTEMS  
FSK SYSTEMS  
FIXED CHANNEL RECEIVERS  
SPECTRUM ANALYZERS

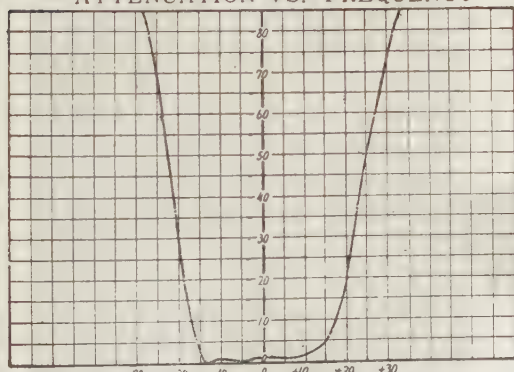
## SYMMETRICAL BANDPASS

MODEL NO	CENTER FREQUENCY	BANDWIDTH 6 DB	BANDWIDTH 60 DB	INSERTION LOSS (MAX)	PASS BAND VARIATION (MAX)	IMPEDANCE OHMS (NOMINAL)	CASE SIZE L.W.H
10 MA	10.7 MC	30 KC	60 KC	6 DB	± 1.5 DB	2,000	80×25×30mm
10 MB	"	15 KC	30 KC	"	"	1,000	"
10 ME	"	6 KC	15 KC	"	± 1 DB	500	"
10 MF	"	3.5 KC	10 KC	"	"	300	"
10 MH	"	0.5 KC	2 KC	"	"	2,000	"

## CRYSTAL DISCRIMINATOR

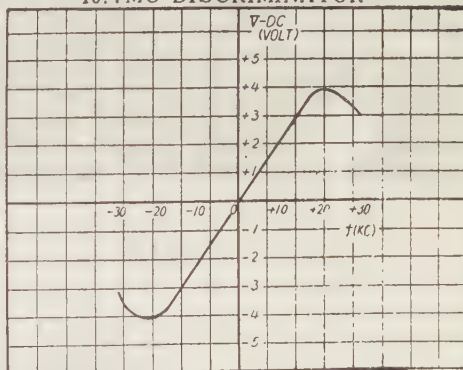
MODEL NO	CENTER FREQ	BAND WIDTH	IMPEDANCE OHMS	CASE SIZE L.W.H.
10M-DC	10.7MC	50KC PEAK TO PEAK	INPUT 10K. OUTPUT 500K	25×20×25mm

MODEL 10-MA  
ATTENUATION VS. FREQUENCY



FREQUENCY IN KC FROM 10.7MC  
CENTER FREQUENCY

MODEL 10M-DC  
10.7MC DISCRIMINATOR



FREQUENCY IN KC FROM 10.7MC  
CENTER FREQUENCY

同一外形互換性を考えた 10.7 MC 系列既設計、高信頼性の高周波水晶濾波器を御推奨いたします。

尚、特に新規設計にも応じますから何卒御用命の程御待ち申上げて居ります。

## 東洋通信機株式會社

本社及工場 神奈川県川崎市塚越3丁目484番地 (電話) 川崎(2) 3771~3779, 2766  
東京事務所 東京都千代田区霞ヶ関3丁目3番地鋼鉄ビル内 (電話) 東京(591) 1973, 1974  
大阪営業所 大阪市西区土佐堀船町23番地大阪商工ビル内 (電話) 土佐堀(44) 4332  
福岡営業所 福岡市下土居町3番地住友ビル内 (電話) 福岡(3) 2501



# 井 上

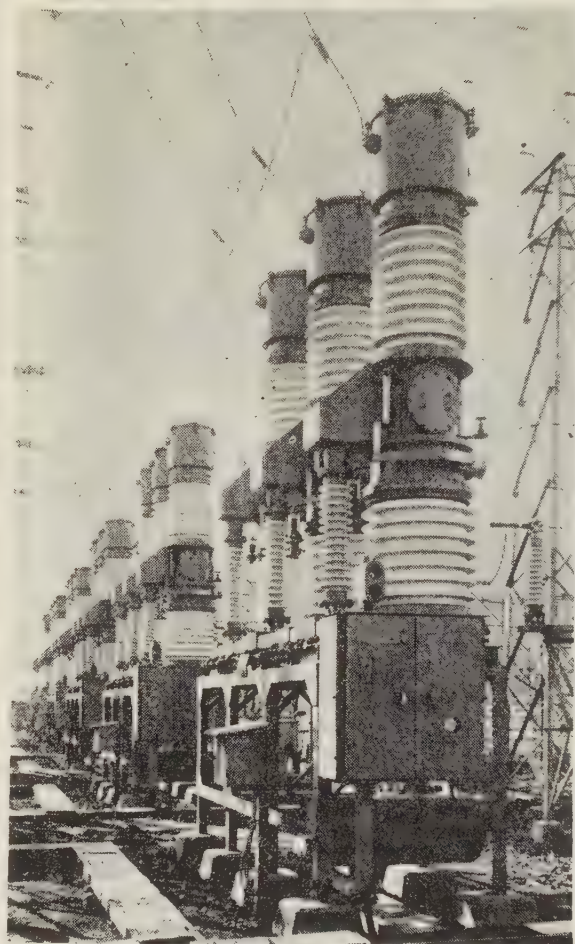
# 油しや断器

— 定格電圧 84 kV —

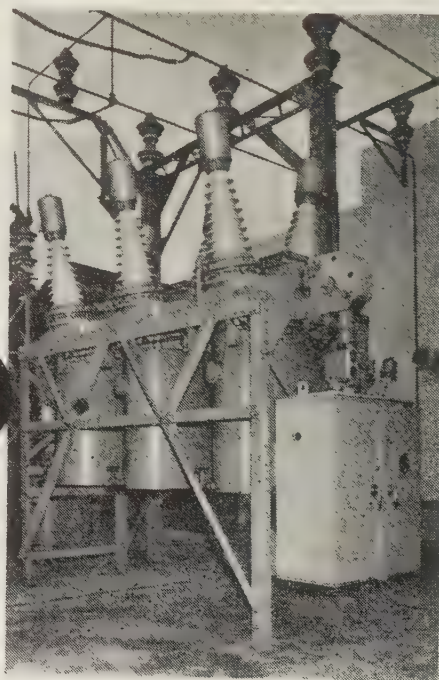
形 名	定格電流 (A)	定格しや断容量 (MVA)	定格しや断時間 (秒)
ECO-10 A-S	800	1,500	5
ECO-10 A-P	800	1,500	5
RCO-10 — P	800	2,500	5
PDO-55 C-P	800	2,500	5

形名末尾のSは電磁操作  
Pは空気操作のものす

ECO-10 A-S形を形式試験  
のため井上しゃ断試験場にて  
試験中のもの



PDO-55 C-P 型  
納入先 九州電力殿



配 電 盤  
しや断器  
断 路 器  
計器、変成器  
開 閉 器



株式會社

井上電機製作所

本社・工場  
支店営業所  
出張所

京都市外向日町 電話(5)代表8691~3  
東京・大阪・名古屋・福岡(九州)広島  
北陸(富山)高松・札幌・仙台・山口・新潟

# V.H

(垂直、水平 プラグイン型)

## DC-50MC

### 広帯域 シンクロスコープ

501A型シンクロスコープは V(垂直軸)、H(水平軸)が、プラグイン式ですから、付属のユニットをさしかえれば、一台で広範囲に活用できます。

DC~50MC ..... 501A型  
(プラグイン式)

DC~20MC ..... 502A型  
(プラグイン式)

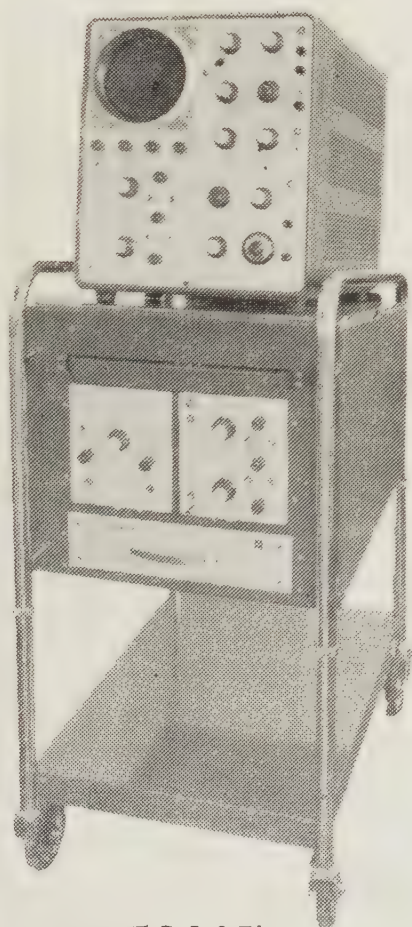
DC~15MC ..... CT-521B型

DC~10MC ..... CT-520A型

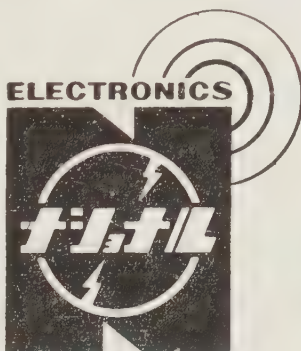
DC~1MC ..... CT-511A型

お問い合わせは.....

最寄りのナショナル計測器販売代行店あるいは、弊社の営業所、出張所までご連絡下さい。



新製品 501A型



松下通信工業

カタログ進呈 松下通信工業株式会社  
横浜市港北区綱島町 TEL(046) 2751代

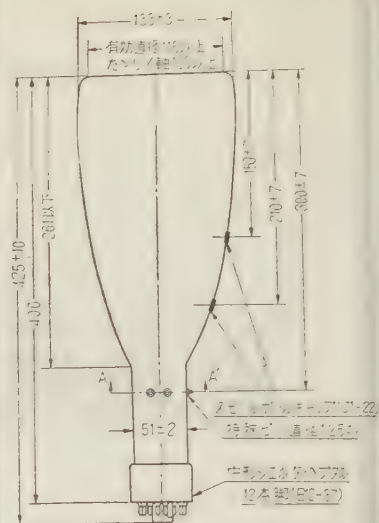


デミング賞受賞に  
輝くNEC電子管

# NEC

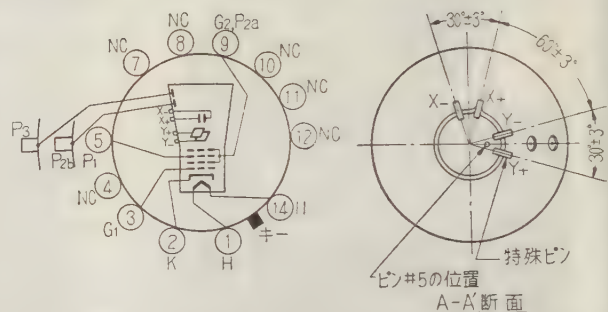
# 130HBI

## 測定用ブラウン管



口

集束方式	静電	
偏束方式	静電，後段加速	
構造	丸型，フラット・フェースバルブ，メタルバック	
口金	ダイヘパタル12本脚スモールボールキャップ，特殊ピン	
口金接続	右図の通り	
全長 (mm)	425±10	
バルブ最大部径 (mm)	133± 3	
有効直径 (mm)	116以上 (Y方向 100以上)	
ネック直径 (mm)	51± 2	
蛍光	緑	
残光	普通	
ヒータ電圧 $E_f$ (V)	6.3±10%	
ヒータ電流 $I_f$ (A)	0.6	
第2陽極電圧 $E_{b2}$ (Vdc)	Max. 2500	
第1陽極電圧 $E_{b1}$ (Vdc)	$E_{b2} \times 20 \sim 34.5\%$	
第2格子電圧 $E_{c2}$ (Vdc)	Max. 6000	
制御格子電圧 $E_{c1}$ (Vdc)	0 ~ -200	
カットオフ電圧 $E_{co}$ (Vdc)	$E_{b2} \times -4.3\%$	
偏向率	X軸( $10^{-3}$ Vdc/cm・ $E_{b2}$ )	12.3 ( $E_{b2}=E_{b3}$ )
	Y軸( $10^{-3}$ Vdc/cm・ $E_{b2}$ )	8.3 ( $E_{b2}=E_{b3}$ )
電静電極容量間量	格子と他電極間 (PF)	8.0
	X軸偏向板間 (PF)	2.3
	Y軸偏向板間 (PF)	1.1



●130HB-Aシリーズは……  
5ABPシリーズの改良型高性能ブラウン管であります。

- 1) 偏向板端子を管球側面に直接だしてC、Lを減らし直流から超高周波まで均一な偏向率を持つように改めてあります。
  - 2) 蛍光膜にメタル・バック加工を施して蛍光膜電位を安定化させたので輝度調整による輝点の移動、パターン歪を極度に減少させてあります。
- しかもコントラストが一段と改善されております。

使用例	ヒーター電圧 $E_f$ (V)	6.3
	第2陽極電圧 $E_{b2}$ (Vdc)	1500
	第1陽極電圧 $E_{b1}$ (Vdc)	300 ~ 515
	第2格子電圧 $E_{b2}$ (Vdc)	3000
	カットオフ電圧 $E_{co}$ (Vdc)	-39 ~ -65
偏向率	X軸 (Vdc/cm)	21.2 以下
	Y軸 (Vdc/cm)	14.2 以下

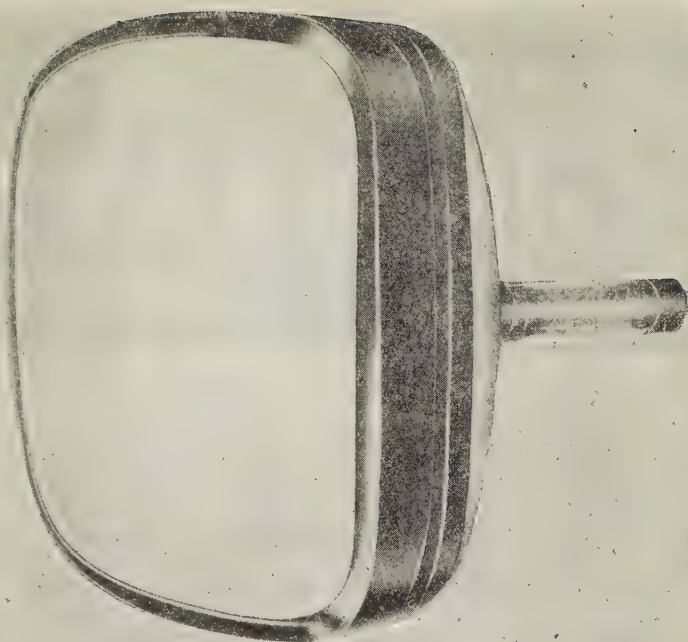
カタログ呈 東京都高  
輪局区内 日本電気KK  
第三営業部電子管係



## 日本電気

**NEC** ブラウン管は多年の研究と経験のもとに優れた技術と近代的量産設備とによって製作しており、次の様な特徴をもっております。

- 1) フォーカスが鮮鋭で分解能が高く、ペンタゴン方式を採用した優れた設計になっております。
- 2) 電源電圧の変動に無関係な完全自動焦点方式でかつ焦点ボケが全然なく、又黒鉛膜の特殊構造によるクイックスタートでありますからスイッチインと同時に、安定した像をむすぶ瞬時安定方式であります。
- 3) イオントラップマグネットの取付重心が球の真下に来るように設計してありますので使用中、又は輸送中でもマグネットの位置が安定してありますので調整の狂う心配はありません。
- 4) 鍍光膜は最も好ましい色調と均一性によりガラスのグレイフエースとあいまってコントラストが良く明るい場所でも鮮明な画面が得られます。



# NEC

# ブラウン管と真空管



**NEC** 真空管は優れた近代的量産設備と、科学的品質管理によって製作しており、その技術は米国有数のシルバニヤ社より技術提携を受け、伝統ある我社の技術とあいまってその優れた性能と安定した品質は業界より広く認められておる所であります。

**NEC** 真空管はたえずラジオ・テレビ用に新品种を開発して業界の要求に即応して広く愛用されており、次の様な特徴をもっております。

- 1) 低ノイズ低ハム高感度で品質が均一で電気的性能にすぐれております。
- 2) 構造堅牢で機械的強度が強く高信頼性で、耐震性にすぐれております。
- 3) 長寿命で長期使用しても特性変動が少く安定性にすぐれております。



## 新日本電気株式会社 日本電気株式会社

本社 大阪市北区梅田2 第一生命ビル 電話 (06) 1261 (大代表) 2890 (直)  
営業所 東京・大阪・札幌・仙台・名古屋・金沢・広島・高松・福岡・旭川・青森・青森・都山・前橋・横浜・新潟・甲府・松本・静岡・岐阜・松山・京都・鳥取・岡山・徳山・徳島・新居浜・松山・高知・小倉・熊本・鹿児島



# マグネトロン用変調管

## JRC水素入サイラトロン

高電圧・大電力用

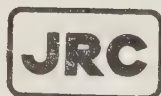
水素入サイラトロンはマグネトロン変調用として、レーダに広く用いられております。近年はレーダのみならず工業用にも使用されるようになりました。当社では、小はMT管より大は数拾MW出力に至る迄のシリーズを完成し、更に新管種を開発研究中であります。

水素入サイラトロンは各管共酸化物陰極を有するグリッド制御3極放電管であります。一般のサイラトロンと異なる所は、最も質量の小さい水素を封入し、特殊な構造により、高電圧に耐え大電流をとり得ることで、パルス動作に適合した設計となっております。

### サイラトロン シリーズ完成!

管 種	陰 極		最 大 陽 極 定 格				最大損失 係 数 (注1)	最 大 せん頭 出 力 (kW)	外 国 製 相 当 管	備 考
	電圧 (V)	電流 (A)	せん頭 順電圧 (V)	せん頭 逆電圧 (V)	せん頭 電 流 (A)	平均電流 (mA)				
1G58P	6.3	2.3	1,000	1,000	20	50	$0.1 \times 10^9$	10	1258	7ピンMT管
1G45P/6130	6.3	2.25	3,000	3,000	35	45	$0.3 \times 10^9$	55	3C45/6130	6130は1G45P の高空用
1G35P	6.3	6.1	8,000	8,000	90	100	$2 \times 10^9$	360	4C35	
1G25P	6.3	8.0	12,000	12,000	120	150	$3.8 \times 10^9$	720	—	
2G22P	6.3	11	16,000	16,000	325	200	$3.2 \times 10^9$	1,600	5C22	
3G49P	6.3	19	25,000	25,000	500	500	$6.25 \times 10^9$	6,000	5949	水素リザーバ付 りザーバ電圧 =3~5.5V
4G48P	6.3	29	25,000	25,000	1,000	1,000	$9 \times 10^9$	12,500	5948	水素リザーバ付 りザーバ電圧 =3~5.5V

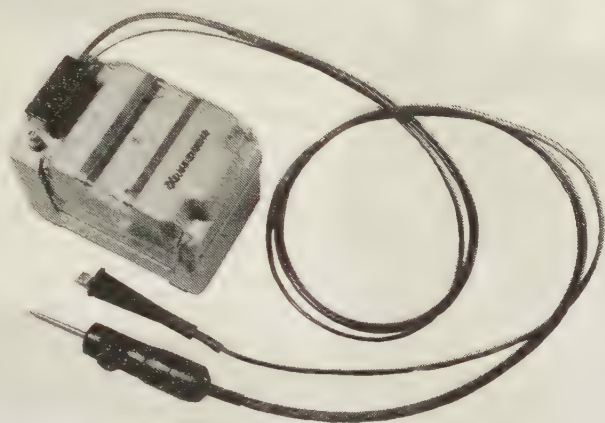
注1：せん頭陽極順電圧，せん頭陽極電流，パルス繰返数の積



## 日本無線株式会社

東京都港区芝田村町1の7 第3森ビル  
大阪市北区堂島中1の22  
福岡市新開町3の53 立石ビル

電 話 東 京 (591)(代)9311(代)9321  
電 話 大 阪 ③ 4 6 3 1 ~ 6  
電 話 福 岡 ② 0 2 7 7



トランジスタ式！

自動式！

## 絶縁抵抗計(L-6型)

- |  |                    |
|--|--------------------|
| 1. 電源は高能率なトランジスタ直流変圧器と長寿命水銀乾電池の組合せです。  | 定 格                |
| 2. 低い絶縁抵抗を測定しても出力が大きいので電圧降下しません。   | 250 V / 50 MΩ      |
| 3. 長期に亘り電池交換を必要としません。  | 500 V / 100 MΩ     |
| 4. 比率計方式ですから∞調整は不要です。  | 500 V / 1,000 MΩ   |
| 5. 斬新なHold-Pointer方式により片手で全操作が可能です。プローブを被測定物にあて、ボタンを押せば指針が振れ、ボタンをはなすと測定値がそのまま保持されます。 | 1,000 V / 2,000 MΩ |

### 電池消費電流

- |   |  |
|---|--|
| 6. 垂直にして使用した場合でも摩擦誤差を生じないような特殊工夫が施してあります。 | ● 500 V / 1,000 MΩ   |
| 7. 目盛が明るく広く、指示が速く、磁界の影響も受けません。            | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <math>\infty</math> MΩ    約35 mA<br/> 0 MΩ    約180 mA </div> <div> <math>\infty</math> MΩ    約45 mA<br/> 0 MΩ    約100 mA </div> </div> |

株式  
会社

横河電機製作所

本社・工場 東京都武蔵野市吉祥寺3000番地 電話 東京 391局 代表 1901  
支 店 名古屋 大阪 小倉 出張所 新潟 湯・広 島  
武蔵野局(022-2)代表 3701

**YEW**



# 増速歯車装置付 三菱エッシャキューブタービン

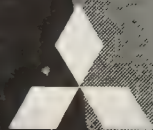
好調裡に営業運転開始

新方式のキューブラタービン

本機は、九州電力(株)神子発電  
所向出力 1,530 kW のもので、ケー  
シングの水を抜くことなしに保守  
員が発電機、歯車装置のところま  
で出入できるよう新しく設計され  
たもので、分解組立は上部通気  
孔から直接行うことができます。

三菱造船株式会社

本社 東京都  
千代田区丸の内  
2の4(三菱本館)  
電話東京 (281) 5111, 3111  
0331.  
(原動機械課)



UDC 621.376.53

## 直流増幅器を対象とした振幅差変調法の研究\*

資料・論文

35-105

正員 阿部善右衛門† 正員 桜井 彰††

## 1. 緒 言

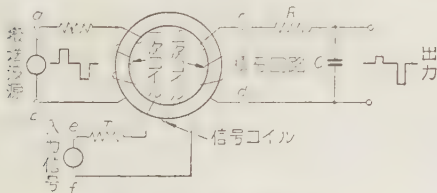
本報は変調形直流増幅器として、よく用いられる偶数調波形変調器の改良に関するものである。すなわち強磁性体とか強誘電体などの点対称な非直線素子を正弦波で駆動するときは、その変調波は奇数調波のみからなるが、直流入力などのために動作点が非点対称のところに移ると、その入力に比例した偶数調波出力を生ずる。これが偶数調波形変調器で、<sup>(1)</sup> その最低到達雑音レベルは  $10^{-19} \text{ W/c/s}$ 、<sup>(2)</sup> この雑音の最低限界はおもにバルクハウゼン雑音によって決まること、搬送波振幅によって感度が異なること、および搬送波が偶数調波を含むとこれによる誤差をとまなうことなどの欠点は免れがたい。

本報はこれらの欠点を除こうとしてなされた研究結果になるもので、点対称非直線素子をパルス搬送波によって駆動することにより、被変調波の極性別による振幅差が入力量に比例する特長をもつが、これから振幅差変調法の名称を得た。

本稿はこの変調原理を中心として、これまで連合大会などに報告したものを総合的にまとめたものである。<sup>(3)~(5)</sup>

## 2. 振幅差変調法の原理

便宜上、点対称非直線素子として強磁性体をとるが、もちろん本法は磁気変調器に限らない。変調原理



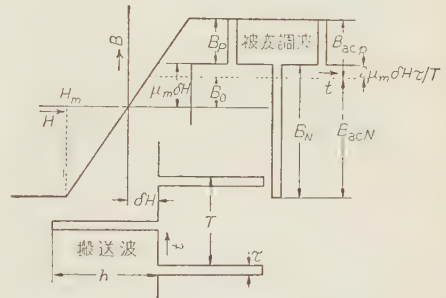
第 1 図 磁気変調器回路

\* Amplitude Difference Modulation Methode for DC Amplifiers. By Z. ABE, Member (Hitachi Central Research Laboratory) & A. SAKURAI, Member (Engineering Research Institute Kyoto University).

† 日立製作所中央研究所

†† 京都大学工学研究所

\* 東北大学通研において行った研究である。文部省科学研究費の補助を受けた。

第 2 図 入力信号 ( $\delta H$ ) のある場合の磁心特性

の解析に必要な記号を下記する。(第 1 図および第 2 図参照)

$B(t)$ : 時間  $t$  に関係した磁束密度,  $B_m$ : 飽和磁束密度  $\mu_m = B_m/H_m$ ,  $H_m$ : 最小飽和磁界  $\mu_m = B_m/H_m$ ,  $h$ : くり返しパルス磁界の振幅  $\gg H_m$ ,  $\tau$ : くり返しパルスの幅,  $f$ : くり返しパルスの周波数,  $T$ : くり返しパルスの周期  $= 1/f$ ,  $A$ : 磁心断面積,  $r$ : 信号コイル抵抗,  $N$ : 二次巻線総数,  $K: 10^{-8}$ ,  $I_0$ : 信号電流,  $\delta H$ : 信号磁界  $\leq H_m$

磁気変調器の解析を容易にするために、その磁心の磁化特性を第 2 図に示すように三つの折線で近似する。

すなわち、そのヒステリシス損および電流損を無視し磁界の強さがある値  $H_m$  をこえと、磁束密度  $B(t)$  は飽和値  $B_m$  になるとする。いまこの強磁性体からなるトロイダル状磁心が第 1 図のように与えられるものとし、その一次コイルには定電流源より磁心を充分飽和させるくり返しパルス (幅  $\tau$ , 振幅  $h$ , 周期  $T$ ) を与え、かつ、第 1 図は無負荷状態とする。この場合入力信号 ( $\delta H$ ) のあるときの変調用磁心の動作特性を第 2 図に示す。ゆえに信号電流  $I_0 = 0$  のときは  $\delta H = 0$  となり、したがって磁束密度  $B(t)$  の上下パルス列の振幅  $B_P$ ,  $B_N$  の絶対値は等しい。しかし搬送周波数にくらべて充分低い周波数成分よりなる信号磁界  $\delta H$  が印加されると、上下パルス列の振幅  $B_P$ ,  $B_N$  の絶対値は不等となり、その差が信号磁界に比例し下式が成立する。<sup>(3)</sup>

$$|B_N| - |B_P| = 2 \mu_m \delta H \dots \dots \dots (1)$$



ここに  $B_m/H_m=\mu_m$  および  $h\gg H_m\geq\delta H$

以下同様

この場合時間  $t$  に関係した磁束密度  $B(t)$  は、フーリエ級数を用いて次のように与えられる。

$$B(t)=\left(1-\frac{2\tau}{T}\right)\mu_m\delta H - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\mu_m\delta H}{n\pi} \sin\frac{2n\pi\tau}{T} \cos 2n\omega t + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4B_m}{(2n+1)\pi} \sin\frac{(2n+1)\pi\tau}{T} \times \cos(2n+1)\omega t \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし  $2\tau/T\leq 1$

ゆえに  $\delta H$  によって磁束密度  $B(t)$  の上下パルス列の振幅に差が生じ、この結果 (2) 式の第 1 項, 第 2 項を生ずるが, 第 3 項は入力信号のない場合の点対称特性より生ずる奇数調波成分よりなることがわかる。しかし  $2\tau=T$  のときは搬送波が方形波となり, 振幅差を生ぜず  $2\tau/T<1$  なるくり返しパルスとなる条件のもとではじめて振幅差を生ずることを示す。(2) 式に示される変調作用を具体的に利用するために, 大別して後述の二つの方法がある。

### 3. 変調方式の分類

(3・1) 振幅差形変調法 (1) 式および第 2 図に示すように,  $\delta H$  によって生ずる  $B(t)$  の上下パルス列の振幅差を利用するものである。 $B(t)$  のうち, 二次コイル出力に表われるのは  $B(t)$  の交流成分  $B_{ac}(t)$  である。ゆえに  $B_{ac}(t)$  に相当する上下パルス列の差が  $|B_N|-|B_P|$  と, どんな関係にあるかを調べてみる。

$B(t)$  の定数項  $B_0$  は次のように表わされる。

$$B_0=\frac{1}{T}\int_0^T B(t)dt=\left(1-\frac{2\tau}{T}\right)\mu_m\delta H \quad \dots\dots\dots(3)$$

ゆえに

$$B_{ac}(t)=B(t)-B_0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

この  $B_{ac}(t)$  が与えるパルス上下の振幅をおののお  $B_{acP}, B_{acN}$  とすると, 第 2 図および (3) 式より

$$\left. \begin{aligned} |B_{acP}| &= |B_P| + (2\tau/T)\mu_m\delta H \\ |B_{acN}| &= |B_N| - (2\tau/T)\mu_m\delta H \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$

ゆえに

$$\left. \begin{aligned} |B_{acN}| - |B_{acP}| &= 2\{1-(2\tau/T)\}\mu_m\delta H \\ &= 2B_0 \approx 2\mu_m\delta H \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここに  $2\tau\ll T$

ゆえに  $2\tau\ll T$  のときは,  $B_{ac}(t)$  の上下振幅差は  $B(t)$  の上下振幅差とほぼ等しく, かつ  $\tau/T$  を変数とすれば, このとき変調効果をほぼ最大にできる。なお変調度  $\eta$  は普通の定義を用いれば下式を得る。

$$\eta = \frac{|B_{acN}| - |B_{acP}|}{|B_{acP}|} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots(7)$$

また, 振幅差を対象として考えれば, このときの変調度  $\eta'$  は

$$\eta' = 2\{1-(2\tau/T)\}(\delta H/H_m) \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots(7')$$

ゆえに (1) 式のただし書きを参照して (7) 式および (7') 式の場合には  $\tau<100\%$ ,  $\eta'<200\%$  となる。すなわち普通の変調波は上下極性別の振幅がほぼ等しい状態であり, 検波はその一方極性を対象とする。ゆえにこの見地からすれば (7) 式の定義が妥当である。しかし本法の場合はドリフトを軽減するために, 検波回路として必然的に後述の極性別による振幅差をとるために (7') 式を採用したいのである。しかし変調度はその最高効率のときに  $100\%$  と定義するのが常識的であるから, 以下 (7) 式を採用しよう。ゆえに差動検波器の効果は検波器効率を 2 と考えることとなる。

このような変調法を利用するためには, 磁気変調器の場合には二次コイル出力を積分して  $B_{ac}(t)$  を再現しなければならない。(第 1 図参照)

ゆえに二次コイル出力を  $v(t)$ , 積分回路の出力を  $v_{CR}(t)$  とし, これを増幅する増幅器の入力インピーダンスを  $\infty$  とすれば下式を得る。

$$v(t) = -KANdB(t)/dt \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\begin{aligned} v_{CR}(t) &= (1/CR)\int v(t)dt \\ &= KANB_{ac}(t)/CR \quad \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

ただし  $\omega CR\gg 1$

ここに  $K, N, A$  などは前述したようにそれぞれ  $10^{-8}$ , 二次巻線総数, 磁心断面積などで, その他第 1 図を参照していただきたい。ゆえに  $v_{CR}(t)$  は  $B_{ac}(t)$  と相似波形となり,  $v_{CR}(t)$  の交流分を  $v_{ac}$ , その上下振幅を前と同様にそれぞれ  $v_{acP}, v_{acN}$  とすれば, 下式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} |v_{acN}| - |v_{acP}| &= \frac{KAN}{CR}\left(1-\frac{2\tau}{T}\right)2\mu_m\delta H \\ &= 2KAN\mu_m\delta H/CR \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(10)$$

ただし  $2\tau\ll T$

したがって積分回路出力の上下振幅差は  $\delta H$  に比例する。

(3・2) 偶数調波変調法 (4) 式に示したように  $B(t)$  の交流成分  $B_{ac}(t)$  は奇数調波群と偶数調波群の和として表わされる。 $\delta H$  により発生する磁束密度の偶数調波群を  $B_{\pm 2nf}(t)$  とすると、

$$B_{\pm 2nf}(t) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\mu_m \delta H}{n\pi} \sin \frac{2n\pi\tau}{T} \cos 2n\omega t \quad \dots\dots\dots (11)$$

ただし  $2\tau/T < 1$

よって  $B_{\pm 2nf}(t)$  のうち一つの周波数成分  $2nf$  を取り出すと、その偶数調波振幅は  $\delta H$  に比例する。

このような方法をここでは振幅差による偶数調波変調法と名づけよう。以下略して単に偶数調波形ということにする。いまトロイダル状磁心の二次コイル出力電圧を  $v(t)$  とすると、(8) 式を参照して (2) 式より次式を得る。

$$v(t) = 8KANf \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} B_m \sin \frac{(2n+1)\pi\tau}{T} \times \sin(2n+1)\omega t - \sum_{n=1}^{\infty} \mu_m \delta H \sin \frac{2n\pi\tau}{T} \sin 2n\omega t \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$v(t)$  の偶数調波群を  $v_{\pm 2nf}(t)$  と表わすと

$$v_{\pm 2nf}(t) = -8KANf \mu_m \delta H \sum_{n=1}^{\infty} \sin(2n\pi\tau/T) \sin 2n\omega t \quad \dots\dots\dots (13)$$

ゆえに第  $2n$  次調波が最大感度をもつための条件は、(13) 式から  $2\tau/T = 1/2n$  なるときであり、このときの最大感度を  $v_{2nf, \max}(t)$  とすると

$$v_{2nf, \max}(t) = -8KAN \mu_m f \delta H \sin 2n\omega t \quad \dots\dots\dots (14)$$

ただし  $4n\tau = T$

これより第二次調波の最大感度は  $4\tau/T = 1$  なるパルス搬送波を用いて得られ、次数の高まるにつれてパルス幅  $\tau$  を  $1/n$  に比例して狭くすべきことがわかる。

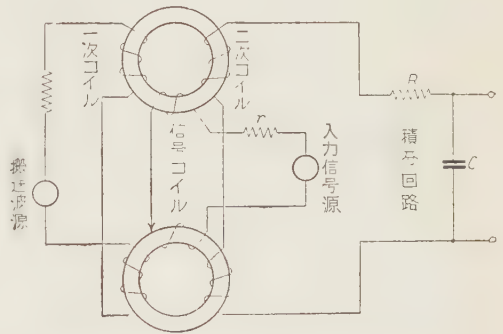
このほか常に搬送波振幅  $h$  に信号磁界  $\delta H$  を重ね合わせたものが  $H_m$  よりも大きければ、偶数調波の発生量は  $h$  の変化に無関係な特長をもつ。

すなわち、この振幅差を原因とした偶数調波法は前記振幅差形の場合と違って積分回路および  $2\tau/T \ll 1$  なる条件は不必要である。二次コイル出力からの偶数調波を選択的に取り出し検波する回路は、従来の正弦波で駆動する方法と全く同様でよく、搬送波の振幅変化による感度の変化もほとんど生じない利点のほか、(6・3) 節 (a) 項記述の特長が期待できるのである。

## 4. 差動変調法

(4・1) 平衡差動法  $\delta H$  が零の場合  $B(t)$  の上下振幅  $B_P, B_N$  は等しい振幅をもち、これは (2) 式第 3 項の奇数調波群によって表わされる。ゆえにこの項は変調作用に関与せず増幅器を飽和させる原因となり、かつまた、変調度を下げる有害成分である。この奇数調波群を除くために、第 3 図のように同様な特性をもつ二つの変調器の二次側を差動的に結ぶのが普通である。かくすることにより、奇数調波群は打ち消し合い、入力信号により発生する偶数調波群は加わり合う。ゆえにおのおのの二次コイル出力を  $v_1(t), v_2(t)$  とすると、この平衡差動出力  $v_d(t)$  は (12) 式から次のようになる。

$$v_d(t) = v_1(t) - v_2(t) = -16KAN \mu_m f \delta H \sum_{n=1}^{\infty} \sin(2n\pi\tau/T) \times \sin 2n\omega t \quad \dots\dots\dots (15)$$



第 3 図 振幅差を対象とする差動形変調回路

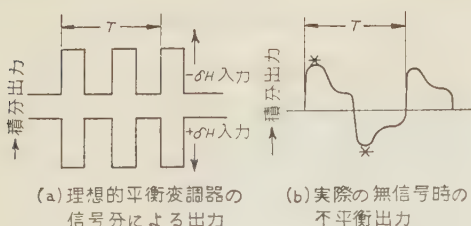
このように奇数調波成分がみごとに平衡することは実際にはありえないが、これが平衡する割合が大きいくほど増幅器をひずませないための選択回路の設計が楽で、かつ変調度を高めやすい。いま、第二次調波波形を考え、パルス幅を変調器が最大感度となる条件  $4\tau = T$  とした場合に、二つの相似な変調器の磁束密度が理想的に平衡できたと仮定して、その動作を第 4 図 (a) に示す。

この磁束密度の出力は

$$2B_{\pm 2nf}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4\mu_m \delta H}{\pi n} \sin \frac{n\pi}{2} \cos 2n\omega t \quad \dots\dots\dots (16)$$

ゆえに磁束密度の差動出力は第二次調波の周期をもったくり返し方形波で、その振幅は  $\mu_m \delta H$  の値に比例し、正負の信号によりその位相が反転する。この

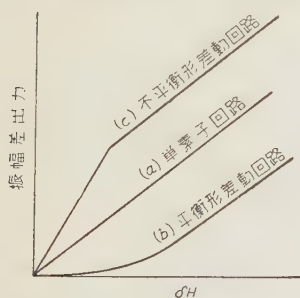




第4図 平衡差動回路の出力波形例

方形波の基本波成分の微分値に比例する値が第二次調波波形の変調出力として二次コイルに誘起する。

ゆえに振幅差形における理想的な平衡差動の場合、



第5図 振幅差形各種変調器の感度特性

その積分器出力の入力信号に対する動作は第4図(a)のようになるが、実際は $\delta H=0$ において変調器の特性が不一致なために不平衡〔第4図(b)参照〕を生ずるので、これと信号分による高調波群との合成値が出力となる。ゆえに信号分が第4図(b)の不平衡分の最大値\*印の所に重ね合わせてその最大値を変化させればよいが、他のところに重ね合わさる結果、微小 $\delta H$ によって不平衡出力の最大値が変化しない場合には、後述のピーク値検波法による最大振幅の検出法を対象とすれば、この変調法は不感帯をもつこととなる。しかし $\delta H$ が大きくなり信号分の重ね合わせによって最大値が変化するようになれば、平衡差動しないとき〔これを単素子回路と略称する。このときの感度を第5図曲線(a)に示した〕と同一の感度をもつ。これは単素子回路のときは一方極性の変化量の2倍が後述の振幅差検波回路で出力するが、前述の平衡差動形回路に大きな信号が入力したときは普通一方極性振幅だけが変化し、この変化量は差動回路のために単素子回路の一方極性の2倍となるからである。

(4.2) 不平衡差動法 前節の不感帯を除くためには、適当な不平衡分を与えて、その最大値のところに信号分が重ね合わさるようにすればよい。このような場合には微小な $\delta H$ によって一方極性の最大値が増せば、他方極性のそれは減少するので、極性別による振幅差〔(5.1)項参照〕を検出すれば、その場合の感

度は単素子回路のその2倍となることも明らかである。このときさらに入力が増して一方極性が変化しなくなれば単素子回路の感度と等しくなるので、この場合の感度は折線状でその傾斜は2対1となる。〔第5図曲線(c)参照〕このような不平衡差動とするためには第3図の一次または二次コイルの巻数を適当に変えるのもよく、または、たとえば二次側に電位差計形抵抗器を入れて、その分圧比を調節するのもよい。この不平衡差動法によって振幅差形の微小信号の検出が容易となったのである。<sup>(3)(5)</sup>

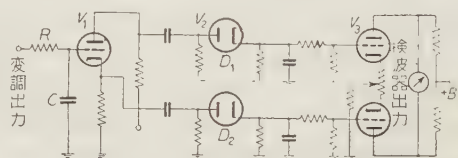
しかし、これらの感度の相対値はたいして意味がない。

たとえば第5図曲線(a)と(c)を比較して単素子の入力巻数を2倍とすれば感度は2倍となるが、これは不平衡差動の場合の合成の巻数に等しいからである。しかし差動の場合のインダクタンスに対して、その合成巻数と等しい巻数をもつ単素子の場合のインダクタンスは2倍であるから、この点応答速度を問題とする自動平衡計器などでは、前記不平衡電圧の小さいこととともに前者のすぐれているのは当然である。

## 5. 代表的検波回路

いままで解析した各変調方式について、その代表的な検波回路を示そう。

(5.1) ピーク波形検波回路 振幅差形の変調波は磁心出力が積分回路に与えられると、そのパルス上下振幅の差は入力信号と比例する。これは単素子の場合も2素子の不平衡差動の場合も全く同様である。ゆえにいずれに対しても積分出力の上下振幅の差を求める構成とすればよい。この基本的な回路を第6図に示す。まず変調出力はR-C積分器からの出力 $v_{CR}(t)$ を二相増幅器 $V_1$ にかけ、入力積分波の両極性振幅を同時に正極性振幅出力とし、二つのピーク波整流回路 $V_2(D_1, D_2)$ のおおのほに入力させると、 $D_1, D_2$ の出力は積分器出力の上下振幅の最大値に比例した直流信号となる。この二つの直流信号を差動増幅器 $V_3$ の入力とすると、上下振幅の差に比例する出力を与える。この際安定な増幅をするためには差動増幅器のドリフトにくらべて充分大きい二つのピーク波整流器の出力差を得る必要があるため、二相増幅器の出力をその

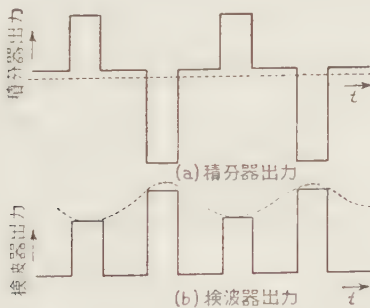


第6図 ピーク波形検波回路例

直線範囲で充分大きくする必要がある。ゆえに、たとえば積分器の次に交流増幅器を1段設けるべきであるが、積分器による減衰が増幅器のSN比を害することがあるので、このおそれのないかつ直線性の良い帰還形積分器を用いるのがよい。

(5・2) 偶数調波形検波回路 偶数調波形の標準としては2素子をできるだけ平衡差動として不平衡分を少なくし、たとえば第二調波を対象として増幅し、同期整流法によって直流信号にもどるのがよく、これは普通の方法と同一である。2よりも高い次数の高調波を対象とすることは、磁性体の透磁率の低下とか巻線間の漂遊容量などによる不平衡分の増加、帯域フィルタ設計の困難、および後述するがバルクハウゼン雑音の点から一般には不利である。

(5・3) 反転形検波回路 変調器出力から信号に比例した搬送周波数出力を取り出すことは、自動平衡計器用の増幅器として有用なことが多い。このような目的には前記振幅差変調器出力の一方極性振幅だけを反転させ、他極性振幅へ重ね合わせてやるとよい。この間の関係を第7図に示した。(a)図は振幅差変調器出力であり、(b)図はその負極性反転による検波器出力である。<sup>(6)</sup>



第7図 反転形検波回路波形例

いま交流成分  $B_{ac}(t)$  の負方向を正方向に反転できたと仮定し、この原波形が(3・1)節と同様積分回路で与えられたとする。このときの磁束密度  $B'(t)$  は前述の場合と同様にフーリエ級数に展開すれば

$$B'(t) = \left\{ B_m + \left( 1 - \frac{2\tau}{T} \right) \mu_m \delta H \right\} \frac{2\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n\pi} \left( B_m - \frac{4\tau\mu_m\delta H}{T} \right) \sin 2n\pi \frac{\tau}{T} \times \cos 2n\omega t - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4\mu_m\delta H}{(2n+1)\pi} \left( 1 - \frac{2\tau}{T} \right) \times \sin(2n+1)\pi \frac{\tau}{T} \cos(2n+1)\omega t \dots (17)$$

ただし  $2\tau/T < 1$

$B'(t)$  の交流分を  $B_{ac}'(t)$  とし、(3・1)節で考えたと同様積分回路の出力を  $v_{CR}(t)$  とすると

$$v_{CR}'(t) = (KAN/CR) B_{ac}'(t) \dots (18)$$

ゆえに奇数調波  $(2n+1)f$  および基本波  $f$  の出力をおおの  $v_{(2n+1)f}$ ,  $v_f$  とすると

$$v_{(2n+1)f}(t) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4\mu_mKAN\delta H}{(2n+1)\pi \cdot CR} \left( 1 - \frac{2\tau}{T} \right) \times \sin(2n+1)\pi \frac{\tau}{T} \cos(2n+1)\omega t \dots (19)$$

$$v_f(t) = - \frac{4\mu_mKAN\delta H}{\pi CR} \left( 1 - \frac{2\tau}{T} \right) \times \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \cos\omega t \dots (20)$$

基本波の最大感度は(第8図参照)  $5\tau \approx T$  の条件が満たされるときで

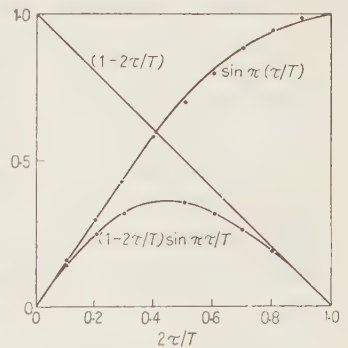
$$(1 - 2\tau/T) \sin \pi\tau/T \approx 0.36$$

となる。ゆえに  $v_f(t)$  の最大感度  $v_{f\max}(t)$  は

$$v_{f\max}(t) \approx - (3\mu_m f KAN/\beta) \delta H \cos\omega t \dots (21)$$

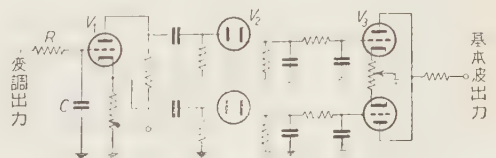
ただし  $5\tau \approx T$ ,  $\beta = \omega CR$

具体的な検波回路例は第9図のように振幅差形と同様に積分回路および二相増幅器を経た正負二つの出力をおおのの整流器に入力させ、その一方極性だけをとり、要すればR-Cなどのフィルタにより高調波部分を除き、おのの出力により合成すると、その出力は信号入力と比例した基本波出力電圧となる。<sup>(7)</sup>



第8図 反転形検波回路の感度係数

また、二相増幅器を用いず差動増幅器と整流回路を適宜組み合わせると同種の検波効果をもたせることも可能である。<sup>(8)</sup>



第9図 反転形検波回路例



## 6. パルス駆動による振幅差形方式と 正弦波駆動による各方式との比較

(6・1) パルス駆動および正弦波駆動による振幅差形変調法 正弦波駆動による偶数調波法は公知であるから省略するが、<sup>(1)</sup> 正弦波駆動によっても振幅差を生ずる。

このときの諸式を、前述した記号を用いて示せば次式を得る。

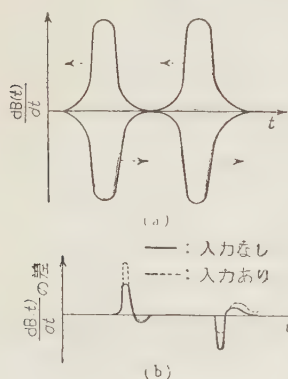
$$\left. \begin{aligned} B_N - B_P &= 2\mu_m \delta H, \quad B_0 = (2H_m/\pi h)\mu_m \delta H \\ B_{N'} - B_{P'} &= 2B_0 = 2(2H_m/\pi h)\mu_m \delta H \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (22)$$

ゆえにパルス駆動の場合にくらべて、その感度はほぼ  $2H_m/\pi h$  倍となる。実際には磁心のメモリー効果をも充分小さくして速応性の高い変調を行うためには、 $h$  は  $H_m$  にくらべて数倍以上としなければならない。ゆえに感度はパルス駆動（ただし  $\tau \ll T$ ）の場合にくらべてほぼ1けた下がるほか、搬送波振幅変化による感度の変動などがあり、前記パルス変調による振幅差法のもつ利点をもたないので、実用上は簡易形の用途をもつにすぎない。

### (6・2) Peak height type (以下 PH 法と略称)

(3・1) 節に説明した振幅差形と同一傾向を示す簡単な変調法が文献 (1) および (7) に散見する。その詳細が見当らないので、ここでは (2・3) 節の実験結果から推定される内容と、著者の提案する振幅差形との相違を考えてみよう。

第 10 図に  $B-H$  曲線のヒステリシスを考えた場合



第 10 図 PH 法説明図

の普通の正弦波駆動による差動形磁気変調器の出力電圧と、それを構成する各変調器の波形を示した。(a) 図は二つの変調器の出力波形が若干の位相差をもつ場合、図中に水平に記した矢印はある極性の入力によってその変調器出力波が位相変調を受ける方向を示している。<sup>(1)</sup> ゆえに  $\delta H=0$  の場合には (b) 図の実線のように微小出力があり、 $\delta H$  によって同点線のように一方極性振幅は増し、他方極性振幅は減少して振幅差変調を受けるのである。これが PH 法とみられるが、 $\delta H=0$  における不

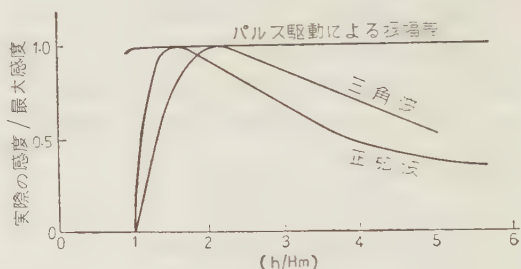
平衡出力が第 10 図 (a) のように急激に立ち上がるような適当な位相でないときには図示のような振幅差変調を生じないか、またははなはだしく感度が悪い。ゆえにその調整法は多小複雑であるが、パルス変調による方法と比較すると下記の相違点をもつ。

(1) PH 法は搬送波の位相変調によって生ずるのに反して、主題のものは第 2 図または第 4 図などからわかるように振幅変調の結果生ずる。

(2) 前者は単一変調器では生じえないが、後者は単一でも振幅差形となる。ゆえに前者で不平衡差動法を実現するには変調器 4 個を要し、きわめて調整が困難である。

(3) 前者は搬送波振幅の変化によって出力振幅が変わるが、後者は  $B-H$  曲線が飽和していれば不変である。(第 11 図参照)<sup>(5)</sup>

(4) 前者は積分器不用で、感度が後者よりも高い。



第 11 図 各種搬送波による第二調波法の感度

(5) 前者は搬送波波形の影響を受けて零点とか感度が変化しやすく、かつ雑音も出やすい。また変調度も高めがたい。

ゆえに微小入力を対象とすれば後者が、相当大きな入力の場合には前者が適している。

### (6・3) 各変調方式の比較

(a) 振幅差形変調器と雑音 増幅最低レベルを決めるものは雑音とドリフトである。磁気変調器を対象とすれば本質的な雑音は熱雑音と強磁性体のバルクハウゼン雑音である。前者は  $10^{-21} \text{W/c/s}$ 、後者は  $10^{-19} \text{W/c/s}$  程度といわれるが、<sup>(2)</sup> 後者の原因は強磁性体中磁区の不規則な回転によるものと考えられる。したがって透磁率の高い部分でこの雑音をもっとも生じやすいが、パルス駆動による振幅差形の場合これをよぎる時間が短いため、この雑音の周波数成分が信号による被変調周波数成分と比較して非常に高い成分を有せしめうる。ゆえにピーク値形検波器を用いる場合、積分器などによるフィルタ作用によってこの雑音成分を低下できるし、偶数調波を対象とする場合も選択性回路

によって除去可能である。またドリフトは複雑な原因からなるが、一つの大きな原因は大入力による磁心のメモリー効果が時間的に減衰してゆくことなどとされている。<sup>(1)(2)</sup> この原因に対しても振幅差形の場合は前述のように感度を下げることなしに、充分大きな搬送波振幅を用いてメモリー効果を低下できるので、正弦波などを搬送波とするものに対して明らかにすぐれている。

ゆえに振幅差形変調器は、従来の正弦波駆動による偶数調波形変調器に比較して雑音およびドリフトを相当大幅に改善できるはずである。

このことは実験的にはほぼ確かめられているが、その理論的背景および実験的限界については今後の問題とする。

(b) 振幅差形と偶数調波形との比較 搬送波波形はしばらくおいて、直流出力を対象として振幅差を検波する方法と、偶数調波を検波する方法とを比較すれば、大體下記のようになる。

(1) 前者は増幅器の非直線性によって誤差を生ずるので、変調波のままで増幅するには比較的低い増幅度の限界がある。ゆえに微小入力の場合には検波後の直流増幅度を大きくしなければならない。後者はフィルタを用いて奇数調波群を除去できやすいので、回路設計は単純であり、感度を高めやすい。

(2) 直流出力を要求される場合、前者は検波に別電源を要しないが、後者は偶数調波電源を要する。しかし特別な回路設計では基本波電源でもよい。<sup>(6)</sup>

(3) パルス駆動による前者は搬送波中にパルス幅不変でパルス振幅を変える偶数調波が存在してもよいが、後者はそれが重大な誤差となるので充分除く必要がある。しかしパルス幅を変化するような偶数調波があれば、ピーク波形検波回路 ( $2\tau \ll T$ ) の場合を除きともに誤差を生ずる。

(c) 各種搬送波波形による偶数調波法の比較

代表的な搬送波としておもにパルスと正弦波をとり参考に三角波をとると下記のようになる。

(1) 搬送波振幅 ( $h$ ) 変化による感度変化を示せば第 11 図のようになり、パルスがもっとも変化が少なく、三角波、正弦波の順に変化が大きい。<sup>(1)(5)</sup> ゆえに前述のメモリー効果を避けるためには、後の 2 者は最大感度の  $1/2 \sim 1/3$  で動作しなければならない。

(2) 正弦波の発振は比較的容易であるが、他の 2 者の発振はより困難である。

(3) パルス駆動によるものはパルクハウゼン雑音による影響を受けがたい。

(4) パルス駆動の場合には  $B-H$  特性が飽和してい

て、かつパルスの幅が極性別で等しければ、パルス中の偶数調波による誤差は生じない。しかしパルス幅が異なればこれによる誤差を生ずる。しかしいずれの場合も差動法の場合にはその単一変調器の特性が等しい割合だけ搬送波中の偶数調波による誤差は軽減される。

(5) 立ち上がりの急なパルスを搬送波とする場合には、 $B$  の飽和値が等しいだけで差動磁心のバランスがとれるので、磁心の特性を合わせやすい。これは変調器調整上大きな利点である。

(6) ともに積分器を要しない。

## 7. 振幅差変調法の微小磁界測定器への応用

地球磁界の連続測定をするためには、普通可動鉄片形の検出部を用いた電磁オシログラフ類似装置 (いわゆる磁力計) を用いるが、最近は取扱いの容易かつ高応答度などのために、前記正弦波駆動による偶数調波変調器とか PH 法が実用化されている。<sup>(7)(9)</sup> 著者もこの応用を目指してピーク波検波器を用いる振幅差変調法による磁力計を試作し、<sup>(4)(10)</sup> その実用性を確かめた。第 12 図にその増幅部回路を示した。すなわち数十ミクロンの厚さを有する幅 10 mm、長さ 150 mm のパーマロイ板を直径約 2 mm のシリカ棒に巻き、焼なまし後その中央にピックアップコイルを数回巻く。さらに駆動コイルおよび零位法による補償コイルを、この上にかぶせたガラスパイプ上に巻いたもの 2 本を機械的には並列に、電気的には差動的に配置し、不平衡差動形に調整したものが変調部である。この出力を第 12 図の入力側に入れて帰還形積分器 ( $T_1$ ) にかけて、さらに増幅後陰極結合形の二相増幅器 ( $T_2$ ) に入れる。その出力を  $T_3$  によってピーク波整流して、 $T_4$  により直流増幅後セレン整流器による平衡変調器によって商用周波数電源を変調する。その変調出力を増幅後サーボモータ (BM) を動かし、すり抵抗の接点を駆動することによって前記補償コイルの電流を制御して、自動平衡させて測定するものである。

この方式は南極観測隊などの観測用に製作したが、その性能は大約下記のごとくで、前記理論的考察を確かめている。<sup>(4)(10)</sup>

(1) 感度:  $1 \gamma (\gamma = 10^{-5} \text{Oe})$

(フルスケール  $\pm 100 \gamma$ , その他)

(2) 雑音レベル: 約  $1 \gamma$

(3) 応答時間:  $10 \gamma/3 \text{ s}$  [フルスケール ( $\pm 100 \gamma$ ) のとき] 約 15 s]

(4) 交流電源変化 10% あたり  $0.2 \gamma$  以下

(5) ドリフト:  $\pm 1 \gamma/\text{日}$





UDC 621.319.4.011.4

## 土 星 形 電 極 の 静 電 容 量 の 近 似 式\*

資料・論文

35-106

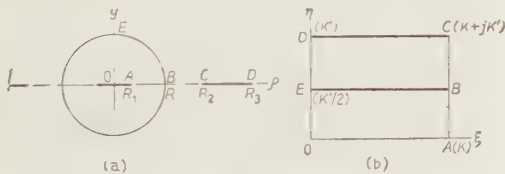
正 員 相 川 孝 作†

## 1. ま え が き

土星形電極の静電容量については、円環外径が無限大として、Snow 氏<sup>(1)</sup>が厳密に算出しているが、その式は複雑でかつ数値計算が容易でない。著者は安宅氏<sup>(2)</sup>の方法により、電位関数<sup>(3)</sup>であるが、比較的簡単な形でしかも数値計算もさほど困難でない式を導いた。解析および実験の方法は同心円板円環電極の場合と同様である。<sup>(3)</sup>

## 2. 静 電 容 量 の 近 似 式

(2・1) 写像関数 土星形電極の直径を含み円環に直角な断面は第1図 (a) に示され、これを  $t$  平面とす



第 1 図 土星形電極

る。球の半径、円環内径、同外径をそれぞれ  $R$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  とする。 $R_1=R^2/R_2$ ,  $k=R_1/R_2$  とおき、 $R_3$  を無限大とする。 $t$  平面の1象限は (b) の  $\tau$  平面の方形にだ円関数によって等角写像される。すなわち写像関数は

$$t = y + j\rho = R_1 \operatorname{sn} \tau = R_1 \left( \xi + j\eta \right) \dots\dots\dots (1)$$

にして

$$\rho = g(\xi, \eta) = \frac{R_1 \operatorname{sn} \xi \operatorname{sn} \eta}{\operatorname{cn}^2 \eta + k^2 \operatorname{sn}^2 \xi \operatorname{sn}^2 \eta} \dots\dots\dots (2)$$

$$y = h(\xi, \eta) = \frac{R_1 \operatorname{cn} \xi \operatorname{dn} \xi \operatorname{sn} \eta \operatorname{cn} \eta}{\operatorname{cn}^2 \eta + k^2 \operatorname{sn}^2 \xi \operatorname{sn}^2 \eta} \dots\dots\dots (3)$$

ただし  $k^2 + k'^2 = 1$ ,  $\operatorname{sn} \eta = \operatorname{sn}(\eta, k')$ ,  $\operatorname{cn} \eta = \operatorname{cn}(\eta, k')$ ,  $\operatorname{dn} \eta = \operatorname{dn}(\eta, k')$

対応関係は第1図に示されるが、 $K$ ,  $K'$  は第1種完全だ円積分、同補積分で、半径  $R$  の円弧  $\widehat{BE}$  は、 $\tau$

平面では  $\eta = K'/2$  の線分  $EB$  に変換される。

(2・2) 回転移動 土星形電極の静電容量を求める問題は第1図 (b) において電極  $BE$ ,  $CD$  を  $\eta$  軸のまわりに回転して得られるコンデンサの容量を求める問題に帰する。軸対称問題ではラプラスの方程式は角度  $\varphi$  に無関係であるから、 $V$  を電位関数とすれば次式で与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left( g \frac{\partial V}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( g \frac{\partial V}{\partial \eta} \right) = 0 \dots\dots\dots (4)$$

だ円関数においては安宅氏の回転を厳密には適用することができないが、<sup>(4)</sup> 文献 (3) と同様の考え方により、ある  $\xi$  の値において  $\Delta \xi$  の範囲では  $\partial V / \partial \xi = 0$  とみなし、 $\xi$  を定数のように取り扱って、 $V$  を  $\eta$  について積分する。

(2・3) 電位関数  $\partial V / \partial \xi = 0$  とおけば (4) 式から

$$\frac{\partial V}{\partial \eta} = \frac{c}{g} \dots\dots\dots (5)$$

$$V = c \int \frac{d\eta}{g} + c' \dots\dots\dots (6)$$

ただし  $c$ ,  $c'$  は積分定数とする。

文献 (3) の (9) 式と同様にして

$$V = \frac{c}{R_1 k'^2 \operatorname{sn} \xi} \left[ \operatorname{dn}^2 \xi \sin^{-1}(\operatorname{sn} \eta) - k \operatorname{cn}^2 \xi \tan^{-1} \left( k \frac{\operatorname{sn} \eta}{\operatorname{cn} \eta} \right) \right] + c' \dots\dots\dots (7)$$

境界条件を  $\eta = K'/2$ ,  $V = V_0$ ;  $\eta = K'$ ,  $V = 0$  とすれば

$$c = \frac{R_1 k'^2 V_0 \operatorname{sn} \xi}{\operatorname{dn}^2 \xi \left\{ \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{1+k}} \right) \right\}} * - k \operatorname{cn}^2 \xi \left( \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \sqrt{k} \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$c' = \frac{\pi V_0 (\operatorname{dn}^2 \xi)^*}{2 \operatorname{dn}^2 \xi \left\{ \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{1+k}} \right) \right\}} - \frac{k \operatorname{cn}^2 \xi}{-k \operatorname{cn}^2 \xi \left( \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \sqrt{k} \right)} \dots\dots\dots (9)$$

\* Approximate Formula Giving Capacity of Saturn Type Electrodes. By K. AIKAWA, Member (Faculty of Engineering, Yamanashi University).

† 山梨大学工学部助教授、電子工学担当



(2・4) 静電容量  $\sigma$  を球面上の電荷密度,  $h_1$  を測座定数,  $ds$  を円周上の線素とすれば, 球上の全電荷は

$$\begin{aligned} Q &= 2 \int_0^K 2\pi\rho\sigma ds \\ &= 4\pi \left[ \int_0^K g \frac{1}{4\pi h_1} \left( -\frac{\partial V}{\partial \eta} \right) h_1 d\xi \right]_{\eta=\frac{K'}{2}} \\ &= - \int_0^K cd\xi \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

静電容量  $C$  は

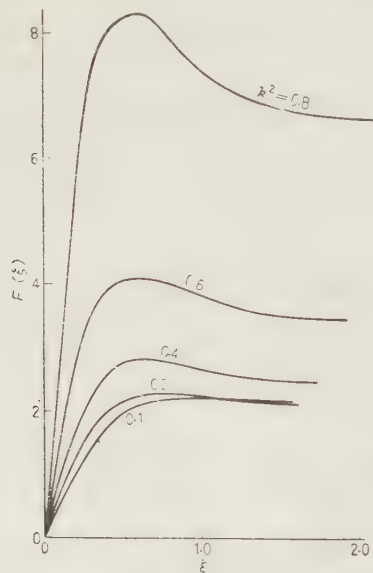
$$C = \frac{Q}{V_0} = - \frac{1}{V_0} \int_0^K cd\xi \dots\dots\dots (11)$$

これを  $R_2$  で割ってかつ実用単位で示せば

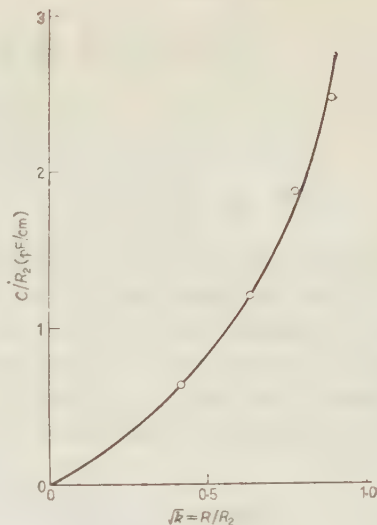
$$\begin{aligned} \frac{C}{R_2} &= \frac{1}{0.9 V_0 R_2} \int_0^K cd\xi \\ &= 1.11 k k'^2 \int_0^K \frac{\operatorname{sn} \xi \, d\xi}{dn^2 \xi \left\{ \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{1+k}} \right) \right\}} * \\ &\quad * \frac{1}{-kcn^2 \xi \left( \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \sqrt{k} \right)} \quad (\text{pF/cm}) \end{aligned}$$

.....(12)

(12) 式は積分が不可能であるので, 被積分項  $= F(\xi)$  において図式積分によって求める。第2図は  $F(\xi)$  を  $k^2$  をパラメータとして計算したものである。 $R/R_2 = \sqrt{k}$  を横軸に  $C/R_2$  を縦軸にとってその関係を図示



第2図  $\xi$  と  $F(\xi)$  との関係



第3図  $\sqrt{k} (=R/R_2)$  と  $C/R_2$  との関係

すれば第3図のようになる。

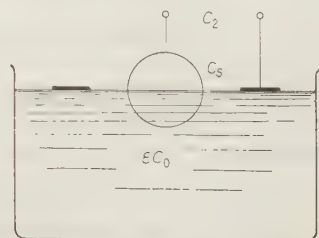
### 3. 実験

土星形電極の静電容量をリード線の端子で測定したときの値を  $C_1$ , 第4図のように下半分が水中に没するようにして測定した値を  $C_2$ , 電極下半分の空気中の容量を  $C_0$ , 電極上半分の容量 (電極間容量とリード線の容量などを含む) を  $C_3$ , 水の誘電率を  $\epsilon$  とすれば, この電極の空気中における全容量  $C$  は

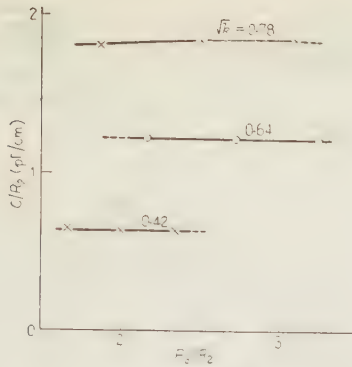
$$C = 2C_0 = 2(C_2 - C_1)/(\epsilon - 1) \dots\dots\dots (13)$$

で与えられる。

水は蒸留水を用い, 測定は  $Q$  メータにより 500 kcで行った。水そうは直径 30 cm, 深さ 15 cm のガラス容器を用いた。水の電極に対する付着力により誤差がはいるので, 数回の測定をはじめからくり返して平均値を求めた。実験に用いた電極は一定  $R$  に対して  $R_2$  および  $R_3$  を変えた 12 組のもので, 寸法は第1表に示す。一定  $R_2$  における  $R_3$  の影響は第5図のよう



第4図  $C_0$  を求める実験

第 5 図  $R_3$  の影響

になり、 $R_3/R_2$  が 1.5 より大きくなればもはや  $C$  は変化しないので、 $R_3 \rightarrow \infty$  の場合（理論式の場合）に等しいとみなすことができる。ほぼ一定値になった  $C$  の

第 1 表 電極寸法  $R=12.5$  mm

$\sqrt{k}$	$R_2$ (mm)	$R_3$ (mm)		
0.90	14.0	25.0	35.0	45.0
0.78	16.0	30.0	40.0	50.0
0.64	19.5	40.0	50.0	60.0
0.42	30.0	50.0	60.0	70.0

第 2 表 理論式と実験値との比較

$\sqrt{k}$	理 論 値	実験値 (平均)	相対誤差 (%)
0.90	2.54	2.44	-4.1
0.78	1.76	1.86	5.4
0.64	1.22	1.22	0
0.42	0.62	0.614	1

値は第 3 図にプロットされ、理論値と実験値とは第 2 表に示すように 0~5% 程度の誤差で一致する。 $\sqrt{k}$  の大きいほうで誤差が大きいのは、第一に  $Q$  の低下による同調点読み取りの困難、次に寸法精度、水の付着による水面の盛り上がりの影響によるものと思われる。

#### 4. む す び

数学的には厳密でないが、安宅氏の方法を適用して土星形電極の静電容量を与える近似式を導き、数値解を与え、かつ実験によってその信頼度を確かめた。球半径  $R$  と円環内径  $R_2$  が既知ならば、 $R_3/R_2 > 1.5$  以上では  $R_3$  に無関係に第 3 図の曲線から容量が与えられる。この電極の実用例については見聞がせまくて知らないが、前に同心円板円環電極が含水率計の電極として実用に供せられ、その静電容量の値が必要になったように、土星形電極がなにかに実用された場合、あるいは同形のコンダクタンス、熱伝導、流体力学などの問題において役立つことを期待する。この計算および実験に協力された大木芳枝氏（日本アスベスト株式会社研究所）、町野一介氏（山梨大学工学部）、宮川修氏（同学生）の諸君に深く謝意を表する次第である。（昭和 35 年 3 月 2 日受付、同 7 月 5 日再受付）

#### 文 献

- (1) Snow: Hypergeometric and Legendre Functions with Applications to Integral Equations of Potential Theory, Nat. Bur. Std. Appl. Math. Ser. **19**, 376 (1952)
- (2) 安宅: 電学論 **4**, 185 (昭 18)
- (3) 相川: 電学誌 **79**, 751 (昭 34)
- (4) 佐藤: 電学誌 **64**, 75 (昭 19)



UDC 621.319.34:621.315.612.4.015.1

## 静電変圧機の移動誘電体板上の電位分布について\*

資料・論文

35-107

正員 城 阪 俊 吉†

## 1. 序 論

筆者らは前報において、<sup>(1)</sup> 静電変圧機の基本的現象と試作機についての諸特性を報告した。本報では前報で簡単に触れるにとどめた回転誘電体板上に現われる二三の現象のうち、電位分布の脈動性について幾分詳細に報告する。

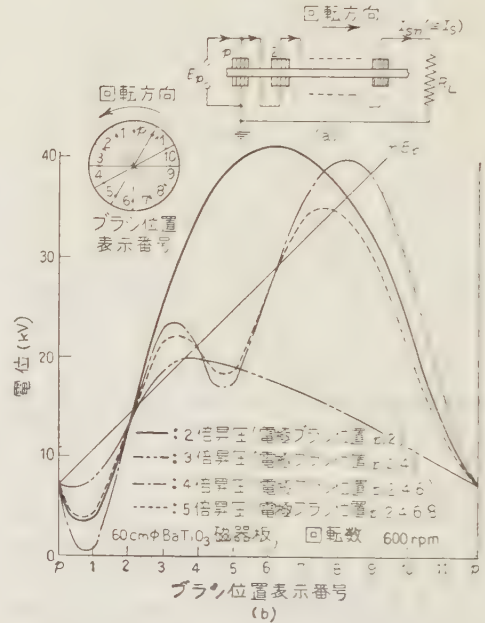
静電変圧機においては入力・出力ブラシ対は回転誘電体に接触しておかれている関係上、その対象は誘電体の表面現象に関係するものが多い。高誘電率誘電体円板を用いた静電変圧機において、板面上の電位分布が位置に関して振動的な模様を呈する現象は、主としてその強誘電性、昇圧方式ならびに回転運動などに起因して現われる表面電位の分布状態によるもので、これらの現象の追究は静電変圧機にとって本質的な問題の一つである。

通常入力ブラシ対に入力電圧を印加して誘電体円板を回転すると、各ブラシ点電位、負荷電流の値は、ほぼ前報で報告した理論式にしたがって与えられるが、これら各ブラシ間の板面上電位は、前報の微小コンデンサ群として考えた理論そのままでは、説明されない一定の規則性をもった振動形を呈している。入力電圧をさらに上昇すると、すでに前報において指摘したように、この振動電位のうち、もっとも強い電位の傾きのブラシ間に沿面フラッシュオーバーが発生して昇圧機能を停止するにいたる。本報はこの電位分布の振動形について行った実験結果を示し、その解析を試みたものである。

## 2. 実験結果

## (2.1) 静電変圧機における電位分布の振動模様

前報において静電変圧機の二次側各ブラシ点電位は回転誘電体板を微小コンデンサ群の集合体として取り扱った理論式によって、かなり正確に実験結果を解析しうることを結論した。しかし前報にも触れたようにこれら各ブラシ間の板面上電位は、一般的には必ずし



第1図 静電変圧機回転誘電体板上の電位分布(I)

もこれらブラシ間電位に沿った直線的な上昇を示さず、脈動的な形をとって現われている。

第1図(b)は60 cm φの誘電体板を用いて同図(a)の接続方式によって、1:2から1:5までの各昇圧比に対する代表的な電位分布を示したものである。

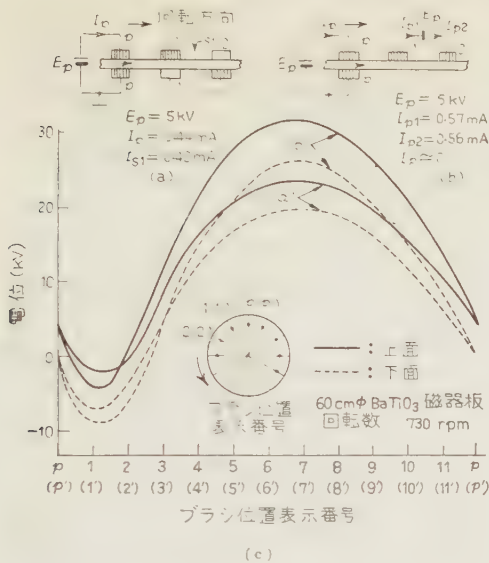
なお、以下本文中の板面上電位測定は、板面上を円周上等間隔に分割して数字で表示した位置に電極ブラシと同一のブラシを配置して、これに静電電位計を接続することにより測定したものである。

このように、いわゆる移動絶縁物体上の電位が電界の下で振動的な分布を示すことは、すでにファンデグラフ起電機のベルト上に現われる現象として知られていたが、従来これに関する研究は Felici 氏<sup>(2)</sup> の論文を除いてはあまり見当たらない。ここではこの現象が強誘電体板を用いた静電変圧機においても顕著に現われていることを示すとともに、これに関する考察と実用面からの対策を述べることにする。

(2.2) 板面上振動電位分布の発生 第2図(a)のように2倍昇圧形静電変圧機において、もし1—2'間の接続がなければ、入力ブラシ対間に印加された入力

\* Surface Potential Distributions on the Rotating Ferroelectric Disk of the Electrostatic Transformer. By S. KISAKA, Member (Matsushita Elect. Ind. Co., Ltd. Wireless Div. Tech. Research Dept.).

† 松下電器産業株式会社無線事業本部研究部長

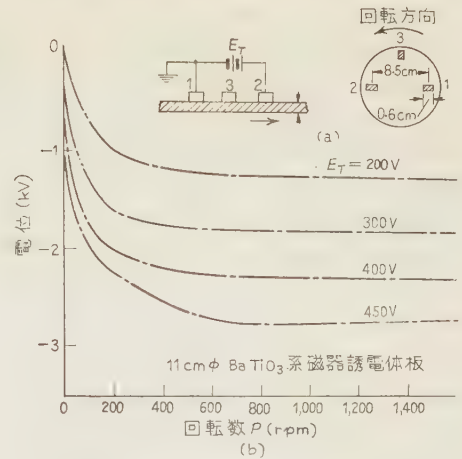


第 2 図 回転誘電体板上の振動電位分布 (II)

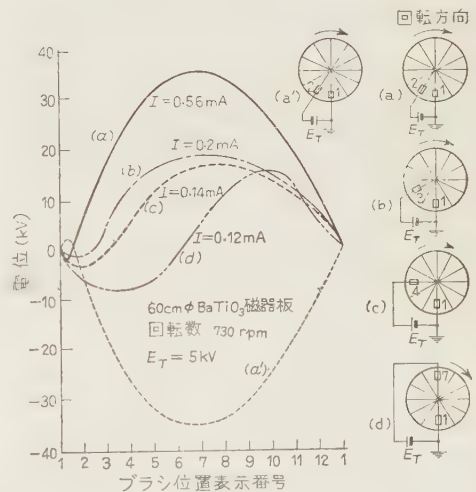
電圧  $E_p$  によって、上部板面の各点はすべて同一電位を示し、同時に下部板面の各点はすべて上部板面電位より  $E_p$  下がった一定電位を示している。したがってブラシ対 1—1', 2—2' さらに板面上すべての上下対向位置にあるブラシ間は、それぞれ入力電圧  $E_p$  に等しい電位差を保ち、ブラシ点 1—2 間には電位差が現われない。しかしこれを図のように昇圧接続する場合には、誘電体板面上の相隣二つのブラシ 1—2, 1'—2' 間にもほぼ  $E_p$  に等しい電圧が生ずる。そこで上面においてこの電圧のみに着目すれば、同図 (b) のように上ブラシ 1—2 間に別の電源 (電圧  $E_p$ ) をそう入した場合に等価であるとみなされる。この両者の場合について板面上電位分布を実験的に求めたのが同図 (c) である。この場合のブラシ位置は (c) 図内に示している。なおここでブラシ 1, 2 の電位が入力ブラシ電位より下がっているのは、のちほどの第 7 図に示されているように、ブラシ 1' が接地されていないことによるものである。

図より明らかなように、(a) と (b) の接続方式においてほとんど類似の電位分布が形成される。当然のことながら誘電体板の回転を止めると、円板上で測定される電位は時間とともに零に収れんし、振動形の電位分布も消滅する。

回転数に対する振動形電位分布の様相をみるために、第 3 図 (a) のような配置で 1—2 ブラシ間の中点におかれたブラシ 3 の電位を、沿面電圧  $E_T$  をパラメータとして回転数  $P$  に対して描いたものが同図 (b) である。



第 3 図 回転数と板面上中央電位の関係



第 4 図 沿面ブラシ間隔の相違による電位分布の変化

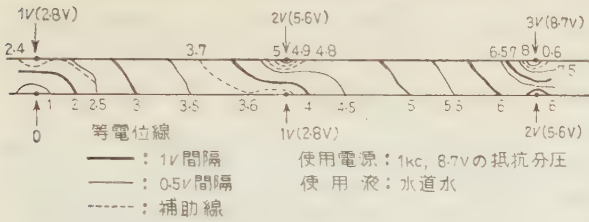
第 4 図は、第 2 図の板面上電界に関する実験結果に基づき、第 2 図 (b) のブラシ位置を第 4 図 (a) ~ (d) の形で置き換えて、ブラシ間隔の変化に対する板面上の電位分布を求めたものである。

この実験結果では、各ブラシ間における板面上ほぼ中央の位置に最高ないし最低電位を示すように電位分布が得られている。同図で点線によって示した (a') は、(a) のブラシ間隔で電圧  $E_T$  の極性を逆転したときの電位分布で、両分布は零電位線に対してちょうど対称である。

また第 5 図は従来の非昇圧形静電変圧機の実験において、回転円板上の上下両面に相対向して配置したブラシ対を、上面、下面の位置をそれぞれ中心角でほぼ  $60^\circ$  ずらしたときの電位分布である。







第 9 図 静電電界模写装置による電位分布図

電界模様を示す。(b) 図は誘電体板表面近くの電界模様をみるために、チタン酸バリウム板を液中におき、電極を幾分離して配置し、それを上面より写したものである。一応予想されるように、電力線は電極から四方に広がり、誘電体面にはほぼ垂直にはいることを示している。(a) 図について、誘電体内の電力線の密集の様子は、内外誘電率の大きな相違から、実際の静電変圧機のように強誘電体板内においてはかなりの違いがあると考えられるが、一応誘電率の大きなことを考慮に入れて考察すれば、概してこれに近いものと考えてよからう。

(2・5) 振動形電位分布の制御 上述のように振動形の電位分布が回転誘電体板上に発生することは、明らかに電位こう配の大きなところが局部的に現われそれが沿面漏れ、沿面放電と関連して、静電変圧機の特長上好ましくない影響をもたらす。

したがって、全面にわたって電位こう配を平坦化することが望ましいわけで、そのために行った種々の

試みに対する実験結果を第10図に示している。

(a) は従来どおりに回転方向に向って順次ブラシを昇圧接続した方式のものであり、(b) は2個、(c) は1個の電位制御ブラシを、図示したブラシ位置番号のところに配置したものである。また (d) はブラシ接続の順序を逆転して接続した方式である。これらの方式のうちには、電位こう配をかなり直線化させているものがある。

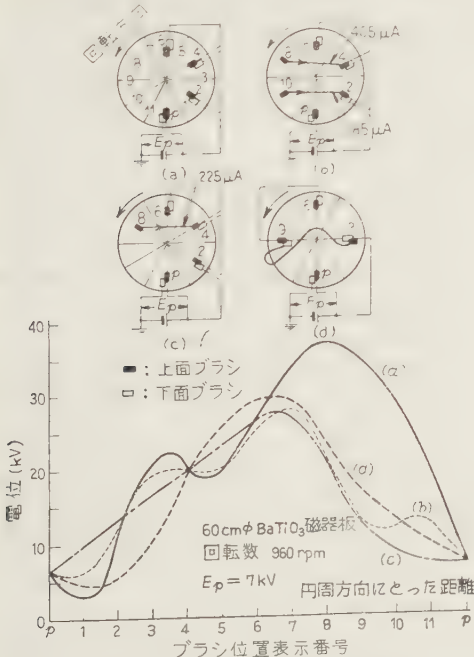
### 3. 考 察

以上述べた各実験結果に基づいて静電変圧機の回転誘電体板面上の電位分布の振動模様について、次のように考察を試みる。

(1) 第2図～第4図の実験結果からして、移動誘電体板の板面上電位分布が位置的に振動模様として現われるのは、板面に沿う方向の電界が大きく関係していることが推定される。第3図の実験結果が示すように、静止状態ではブラシの位置における電位は測定によって求められず、誘電体板が回転状態にはいることによって、この位置ならびに板面上すべてにわたるそれぞれの位置で、固定した一定電位が測定されるようになる。この場合、第4図(a) (a') が示すように、ブラシ1が負の極性、ブラシ2が正の極性であれば、ブラシ1—2間の電位は下に突の傾向をもって低下し、ブラシ2以後の電位はブラシ2の電位より上昇する。またブラシ1, 2の極性を反転すれば、これとは逆に1—2間の電位が上に突の傾向をもって上昇し、2以後の電位が下降する現象を示している。このことは、静止状態においては板面上に電荷が存在せず、それが回転状態にはいることによって、板面上が電荷によっておおわれるために現われる現象であると解釈する。しかもブラシ1, 2の極性を反転することによって、両者の電位分布が零電位に対して対称性を示すことからみて、板面上にたい積する電荷の極性は、おのおのの位置で両者対称的なものと考えられる。

以上の点を考慮すると、静電変圧機において沿面方向に新たに電界が発生すると、これによって誘電体板面上には一次電源から供給される電荷のほか、さらにこの沿面電位差による新たな電荷のたい積が局部的に加わることが考えられる。そしてこれが誘電体板の上下電荷分布を局部的に乱して、沿面ならびに上下間の電荷分布の不均衡を生じ、全体としての電位分布を、仮定とは異なる、変化に富んだ形にもってゆくものであろうと考えられる。

この考え方に立って、第3図、第4図の板面上の電



第 10 図 振動形電圧分布の制御



荷の極性を眺めると、ブラシ1が負極の場合には、ブラシ1—2間には負電荷、ブラシ2以後には正電荷がたい積され、またブラシ1が正極の場合には、これとちょうど対称的に極性を反転した正負電荷が板面上に存在しているものと考えられる。なおこのような極性の電荷が供給される位置について考えてみると、同図のブラシ配置機構からして、この正負電荷の供給は当然これら二つのブラシ点以外には考えられない。

したがって以上を総括して考えると、誘電体板上(一応強誘電体に限定しておく)に正負の極性をもった2個のブラシを配置して、その誘電体を移動する機構においては、この誘電体板は負極ブラシ点で負電荷の供給を受け、これが正極ブラシ点を通過するとき、その負電荷が打ち消されると同時に、逆に正電荷がたい積されてゆくという過程が考えられる。しかもブラシ1、7と直径上対称の位置においた第4図(d)のブラシ配置における電位分布が、左右は絶対値の等しい、極性を変えた電位分布を現わしていることから考えて、ブラシ1点とブラシ7点におけるこれら正負両電荷の供給は、その前後の電荷密度がそれぞれほぼ等量になるように行われているように受け取られる。このような電荷供給の現象が、伏見氏ら<sup>(3)</sup>の報告に述べられているような、強誘電体分極が反転する際に現われる強誘電体特有の現象に結びつくものか、あるいはもっと一般的に低誘電率物質でも同様に現われる現象のものであるかについては、改めて検討するつもりである。

いずれにしても、一次電源によって垂直方向に充電される静電変圧機において、これを昇圧接続することによってさらに沿面方向に電界が発生するため、この沿面電位差によって誘電体板上には新たな電荷の供給が加わることになり、これが誘電体板面上の電荷密度の分布に不均衡を生ずることになると考えられる。そこでこの沿面電位差によって、誘電体板上に新たに供給される電荷量を求めるに際して、誘電体が強誘電体であることを考慮に入れて、ちょうど静電変圧機的一次ブラシでの電荷供給と同様の考え方を導入して、この沿面電界はほとんどすべて電極近くに集中しており、充電電荷は沿面方向のブラシ間の容量と印加電圧によって与えられるとみなし、次のような取り扱いを試みる。

(2) いま第4図で板面上ブラシ電極間に印加した沿面電圧を $E_T$ として、この $E_T$ なる電位差だけによって現われる板面上の電位分布について考えてみる。誘電体板の誘電率の大きな点を考慮に入れ、放電状態においては電圧のほとんどすべては電極近くに集中し、誘電体板上にはほぼこの $E_T$ が零になるまで正負電荷

のたい積が進められるとみなし、これによって板上を搬送される電荷密度 $\sigma$ は、ブラシ間隔を $l$ として、

$$\sigma = \pm \frac{k_1 \epsilon_1 E_T}{4\pi l} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられるとする。ここで±の符号はブラシ1の極性の正負それぞれに対応するもので、 $k_1$ は1に近い定数、また $\epsilon_1$ は板面上のブラシ電極間で沿面方向に測定される実効誘電率を表わすものとする。

回転状態では(1)式で示される電荷がブラシ1からブラシ2に向ってつぎつぎと送られてゆくと考えられる。なおこの際必ずしも板面上いたるところで常に一定の $\sigma$ を示すとは考えられないが、一応簡単のために板上の搬送電荷密度は一定であるとして考察を進める。

この誘電体表面の電荷分布による表面電位分布の模様を推察するたてとして、簡単のため誘電率 $\epsilon_2$ なる誘電体内部・表面一様に電荷密度 $\rho$ が分布している状態を仮定し、これについて一次元的取り扱いを行ってみる。回転方向に沿った板面上電位を $\varphi(x)$ とすれば

$$\nabla^2 \varphi(x) = -4\pi \rho / \epsilon_2 \dots\dots\dots (2)$$

なる Poisson の式が誘電体内部で成立する。

そこで、 $\varphi(0)=0$ 、 $\varphi(l)=E_p$ なる境界条件を導入して、この式を解くことによって次式が得られる。

$$\varphi(x) = -2\pi \frac{\rho}{\epsilon_2} x^2 + \left( \frac{E_p}{l} + 2\pi \frac{\rho}{\epsilon_2} l \right) x \dots\dots (3)$$

ここで、(2)式の $\rho$ と実際の静電変圧機についての(1)式の $\sigma$ との関係が問題になるが、いま誘電体厚さ $d$ が $l$ にくらべて充分小さい場合には、誘電体表面上の自由電荷密度 $\sigma$ が厚さ $d$ にわたって一様に分布しているようにみなして、誘電体内の体積電荷密度 $\rho$ は一応 $\sigma/d$ で近似されると仮定する。この場合も一応定数 $k_2$ を導入して $\rho$ を

$$\rho = \frac{k_2 \sigma}{d} = \pm k_1 k_2 \frac{\epsilon_1 E_T}{4\pi l d} = \pm k \frac{\epsilon_1 E_T}{4\pi l d} \dots\dots (4)$$

とおくことにする。ただし $k=k_1 k_2$ とする。

ここで、昇圧接電の原理から導入される $E_p \approx E_T$ なる関係を考慮に入れて、(3)式に(4)式を代入すれば次の関係式が与えられる。

$$\varphi(x) = \pm k \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \frac{E_T}{2ld} x^2 + \left( \frac{1}{l} \pm k \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \frac{1}{2d} \right) E_T x \dots\dots\dots (5)$$

そこで $R(x) \equiv \frac{\varphi(x)}{E_T}$ とおいて $R(x)$ の最大または最小値を与える $x$ の値を $x_m$ として、次の値が得られる。

$$x_m = \frac{l}{2} \pm \frac{\epsilon_2}{k \epsilon_1} d \dots\dots\dots (6)$$

いま

$$\frac{l}{2} \gg \frac{\epsilon_2}{k \epsilon_1} d \dots\dots\dots (7)$$

なる条件を仮定すると  $x_m$  ならびにこのときの  $R(x_m)$  の値は近似的に次のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} x_m &\approx l/2 \\ R(x_m) &\approx \pm \frac{k\varepsilon_1}{8\varepsilon_2 d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

さらに  $k \approx 1$ ,  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$  がなりたつとすれば,  $R(x_m)$  の値は簡単に次式で与えられる。

$$R(l/2) \approx \pm l/8d \dots\dots\dots (9)$$

以上の±の符号はそれぞれブラシ1側が正極の場合には上側を, 負極の場合には下側の記号をとるものとする。簡単に(9)式が成立する場合には, 同式より電極間板上を正電荷が搬送されるか負電荷が搬送されるかによって, 電極間のほぼ中央でそれぞれ最大値・最小値を示し, さらにこれら最大・最小値はほぼ  $l/8d$  の値になることが導かれる。そこでこの(9)式の関係を第3図の  $d=0.3$  cm,  $l=13$  cm なる値を用いて得られる  $R(l/2)=5.4$  とブラシ3の電位実測値とを比較してみると次の第1表のようになる。

第 1 表

$E_T$	200 V	300 V	400 V
実測値(第3図より)	-1,250 V	-1,800 V	-2,300 V
計算値(9)式より)	-1,070 V	-1,600 V	-2,150 V

この結果は, (4)式の仮定を用いても実測値と計算値の両者の間にかんがりの量の一致が得られることを示している。次にこの関係を第4図の電位分布と比較してみると, 同図(d)における  $R(l/2)$  の計算値は約10程度, 実測値は1.6程度の値となり, 両者の間にはかなりの相違が現われる。しかしこれについては次のように説明することができる。すなわち第3図の場合には, 円板が直径11 cmの小形円板であるため, 全体が均一素板で構成されているのに対して, 第4図の場合には直径60 cmという大形円板である関係上, 扇形8枚がエポキシ樹脂で接合されて, 1枚の円板が構成されているという相違がある。そのため前者において(7)式の関係が容易に成立するのに対して, 後者においては(1)式で導入した沿面方向のブラシ電極間の実効誘電率  $\varepsilon_1$  はかなり減少しているが, (2)式で導入された  $\varepsilon_2$  は変わらないという関係にある。そのため(8)式によって  $R(l/2)$  は前者にくらべて  $\varepsilon_1/\varepsilon_2$  倍に減少することになり, 実測値がこのように小さく現われたものと解釈される。

なお, いままでの考察はブラシ1とブラシ2との間の電位分布について取り扱ってきたものであるが, 同様の考え方でブラシ2以後の電位分布についても説明

することができる。すなわち, ブラシ2以後においては, ブラシ1—2間の板面上電荷の極性を反転した電荷の存在を考えると, これによってブラシ1—2間の電位分布に対して極性が反転した電位分布がブラシ2以後に現われ, その電位が  $l$  の増加に伴って次第に高くなる現象が説明される。

なお上記の考察からすれば, 定常運転状態での振動形の振幅は面に垂直な方向と沿面方向との実効誘電率の比のみに依存しているため, 無接合形誘電体板上の振動形電位の振幅は, 計算上誘電体板の  $\varepsilon$  には関係しないことになる。しかしこれは沿面方向電界を印加した場合, そのたい積電荷を求めるのに際して, 誘電体が空気にくらべて充分大きな誘電率をもつと考えて求めているが, 実際にはたとえばガラスと強誘電体とではブラシ付近の電界分布も異なり, また低誘電率誘電体では漏れ電流, 電荷中和などに基づく損失の割合も強誘電体にくらべてはるかに大きく, そのため(1)式によって表わされる電荷よりもかなり少ない電荷しか運ばれないものと考えられる。そのため回転中における沿面方向電界による電荷も少なく, その影響も緩和されることになると考えられる。これに対して誘電率の高いことは, ブラシ近くの電位こう配をきびしくし, 同時に電位分布の振動形も大きくなり, このことから回転状態では静止状態にくらべてフラッシュオーバー電圧が大きく低下する方向に導くことになるとの見方も成立してくる。

(3) 第5図の二次側ブラシをずらした実験は, 一つの興味ある現象を呈している。すなわち通常どおり二次側ブラシを上下相対向して配置してこれを直接接続すれば, いわゆる短絡回路が構成され, 前報で述べたように回転数  $p$ , 1回転あたりの掃引容量を  $C_T$  として

$$I_{s0} = pC_T E_p \dots\dots\dots (10)$$

なる短絡電流が負荷側に流れ, 同時にこの値の電流が入力側から供給される。

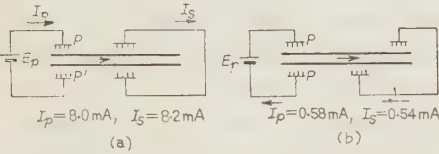
この際, 板面上の電位差は一次側ブラシ点から二次側ブラシ点に向って一様に降下する。しかるにこれを第5図のように上ブラシを5, 下ブラシを6' と, それぞれ上下ブラシの位置をずらして接続した場合には, 同図点線のように全体として板面電位が降下するとともに, ブラシ点5—6間で変曲点が生ずる現象となって現われる。この現象を考えるため, いまそれぞれ5', 6'の位置にブラシの存在を想定してみると, これはあたかも従来の昇圧形静電変圧機において, 第5ブラシ, 第6ブラシの両ブラシを昇圧接続した構成にほかならないことがわかる。このため6'の電位が5の電位まで高められることになり, 上板面, 下板面ともに沿面方



向の電界が生ずる。ただこの場合には、実際には5'および6'の位置にはブラシが存在しないため、これらの点においては(2)で考察したような電荷の供給は考えられないが、ブラシの存在する5、6'点においては、この沿面電界による電荷の供給が考えられる。したがってこの場合には(1)の考察により、5点における負電荷の供給と、6'点における正電荷の供給が行われることになるが、しかしここでさらにいま一つ別の電荷移動の現象が認められる。それは5—6'間の接続によって現われるコンデンサの部分的短絡現象によるものである。すなわち、いま5—6'間を接続する以前に、両ブラシ点間に存在していた電位差を $E_p$ 、5—6'間の単位面積あたりの等価容量を $C_{5-6'}$ とすれば、この2点間の接続によって、単位面積あたり接続導体を通じて、

$$\sigma'' = E_p \cdot C_{5-6'} \dots\dots\dots(11)$$

なる電荷密度が移動することによって両者等電位になる。これに関係した実験結果が第11図に示されている。この場合、同図(b)の電流値は同図(a)の約1/14に減少しており、これはほぼ等価容量の減少に比例している。この結果上記(11)式に相当する電荷 $\sigma''$ が上面は点5、下面は点6'において中和される。



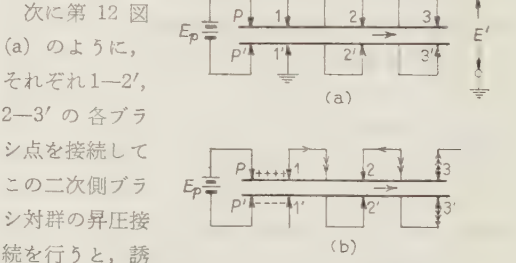
第 11 図 回転誘電体板の部分的短絡現象

そのため上面5—6間、この中和によって入力側から搬送されてくる正電荷が、この $\sigma''$ だけ消失する現象と、考察(2)で述べた沿面方向の電界による負電荷 $\sigma'$ の供給される現象とが重ね合わされている状態にあるとみなされる。この際下面5'—6'間における負電荷には変化を生ずる原因は考えられない。次に6'以後の下面負電荷は5ブラシの正電荷による中和と沿面方向の電界による6'ブラシ下での正電荷の供給によって負電荷は減少するが、これに対して上面6点では電荷密度の変化は生じない。そのためブラシ位置(5, 5')—(6, 6')間においては、さきの(4)式の考え方にしたがえば、全体としての体積密度 $\rho$ において $-(\sigma' + \sigma'')/d$ に相当した負電荷が過剰になる。また6—6'点以後は一応、上下等量の正負電荷が残るとみなされるが、いままでの実験結果よりみれば、後述のように極性反転の際の充電電荷は、最初の充電電荷より幾分多くなる傾向が存在しているようにみえるので、今後この面の

考察も必要と考えられる。なお板面の一部にこの等価的負電荷が発生することによって、板面全体の電位も降下して第5図に示されているようになるものと考えられる。また5'—6を接続した場合には同様に考えて、等価的過剰電荷密度 $\rho$ は正となり、前記と全く対称的な電位分布を示すことが想像される。

(4) 前項で考察したように、各ブラシ間の板面上電位は、昇圧接続による沿面電圧の発生によって、前報の理論式においては考慮されていない振動形の電位分布を与えることになる。この現象は同時に、前報においてすでに示したように、各ブラシ点に流れる電流値にもおよんでおり、昇圧接続を行った場合の二次側各ブラシ電流 $I_{sj}$ は必ずしも一定にはならない。この場合一般的にみて第1ブラシの電流値は大きく、第2ブラシの電流値は小さく現われ、以後のブラシ電流値はこの間にあって上下する値を示す傾向にある。特に無負荷時においては、第1ブラシ電流と第2ブラシ電流はちょうど逆方向に流れる現象も現われる。以下この現象について考察を進める。

一定速度で回転する誘電体円板の上下両面を、等間隔に配置された多数の電極ブラシ対がしゅう動する場合において、[第7図(a)参照]いまこのうちの一つのブラシ対( $p-p'$ )を入力電極として、これに $E_p$ を与えると、誘電体板の上下両面間には一定の電位差 $E_p$ を生じている。この場合誘電体面上をしゅう動する電極ブラシ間を接続することなく、各ブラシ対を電気的に独立にしゅう動させるようにしておけば、二次側各電極ブラシ対の上下ブラシ間の電位差は、ブラシ対の位置に関係なく一定に保たれることが実験的に示されている。そしてこの場合、電気力線は板面に垂直に上面から下面に走り、板面に沿う接続成分は存在しない。



第 12 図 ブラシ電流の構成

をしゅう動する電極ブラシ(2, 3, ...)の電位は順次上昇し、下面をしゅう動する電極ブラシ(2', 3', ...)の電位もまた同様に上昇する。前報<sup>(1)</sup>計算式によってこの電位は

$$E_s = \sum_{j=1}^n E_{sj} \dots\dots\dots (12)$$

$E_s$ : 二次側  $n$  番目 (最終段) ブラシの電位,

$E_{sj}$ : 二次側  $j$  番目 ブラシの  $j-j'$  間電位差

で表わされる。したがって第 12 図 (a) で、第 2 ブラシの 2' 点における電位は接続前の電位より  $E_{s1}$  だけ高められることになり、同時に上面ブラシ 2 と 1、下面ブラシ 2' と 1' の間にはそれぞれブラシ対  $E_{s2}$ 、 $E_{s1}$  なる電位差が沿面電圧として加えられることになる。そのため、以前には面に垂直な方向にだけ存在していた電気力線は変形され、第 8 図、第 9 図に示されているような力線配置に変えられることになる。同時にこの接続操作によって、ブラシ 1—2、1'—2' 間にはその静電容量に見合った充電電流が流れ、またブラシ 1—2' 間には、接続前に両端子間に存在していた電位差と静電容量とに見合った短絡電流が流れる。そこで、この二つの理由に基づいて各ブラシに流れる電流方向は、その充放電極性からして、それぞれ同図 (b) の一重、二重矢印の方向に流れることになる。ここで一重矢印は前者の沿面充電を、二重矢印は後者の短絡電流の方向を示したものである。すなわち、ブラシ 1 に対してはいずれも負荷電流と同方向、ブラシ 2 に対しては正負両方向の電流が合成されて流れる。この種の電流は誘電体板が回転中にたえずその電位分布を保つために流れなければならない。このようにして静電変圧機の昇圧接続によって生ずる沿面電圧と短絡現象とによって、各ブラシにはそれに見合った充放電の電流がたえず流れることになる。また、それによって電荷密度の分布が板面上局部的に変動すれば、すでに (2) 項において考察したように電位分布が発生する。ただし、この場合には (2) 項で考えたように誘電体板の片面だけに電荷変動が現われるのではなくして、板面上下に同時に現われることの相違がある。そしてこの場合沿面電位差に基づく電荷の極性は上下同一になる。

そこでいま少しこの振動形の電位分布と各ブラシに流れる電流の脈動性との関係を考察するために、ブラシ  $i-i'$  間に印加された  $E_p$  なる一次電圧によって充電される電荷を  $\sigma_0$ 、沿面電圧による第 1 ブラシと第 2 ブラシ間の充電電荷を  $\sigma'$  とし、まず沿面電位差による電荷分布の変動を考えてみる。この沿面電圧によって、第 13 図 (a) の 1—2、1'—2' 間にはほぼ  $E_p$  なる電圧が印加されるから、考察 (1) で述べたように、(1) 式にしたがって上面 1—2、下面 1'—2' 間にはいずれも負の電荷がたい積され、これが第 2 ブラシ以後においては、正電荷に転換される。その結果は、ブラシ 1—2 間では、上面電荷は  $(\sigma_0 - \sigma')$ 、下面電荷は

$-(\sigma_0 + \sigma')$  と

なり結局この

ブラシ間には

$-2\sigma'$  の電荷

の不均衡を生

じたと等価に

なる。ここで

第 2 ブラシ以

後のブラシが

昇圧接続され

ていない状態

を考えると、

(1) 項の考察

によってブラ

シ 2、2' 以後

においては上面電荷は  $(\sigma_0 + \sigma')$ 、下面電荷は  $-(\sigma_0 - \sigma')$

が存在することになり、ここでも等価的に  $+2\sigma'$  の電

荷の不均衡が生じたことになる。そのため、これらの不

平衡電荷によって板面電位は第 13 図 (b) の実線に示

されるようにブラシ 1—2 間では電位分布が下に突、

第 2 ブラシ以後では電位分布が上に突になると考えら

れる。実際にはこのほかさらに上述の短絡現象によっ

て、それぞれブラシ点 1 から 2' に向って流れる電流に

よる電荷分布の変動を考慮しなければならない。こ

の際の放電電荷量は、単位面積あたりはほぼ  $E_p C_{1-2'}$  程

度の値とみなされる。ここで  $C_{1-2'}$  はブラシ点 1—2'

間の単位面積あたりの等価容量の値をとる。これに由

来する電流はさきに述べたように、ブラシ点 1 から正

電荷が流出する方向であり、その電荷はブラシ点 2' で

中和される。したがって、上面 1—2 間の電荷はこれ

に相当する電荷だけ減少されることになり、1—2 間

の電位降下はさらに低下して同図 (b) の点線のように

なることが推察される。

なお、このようにして第 1—第 2 ブラシ間に生じた

電荷密度の不均衡による電位分布の模様は、第 2 ブラ

シ以後の電位分布に対してもかなりの影響を与えてい

るよう見受けられる。すなわち、第 2 ブラシ以後の

電位分布については、その電荷分布と境界条件にした

がって、改めて方程式が解かれるべきであるが、いず

れのブラシ点においてもその電位は、それぞれ  $E_s$

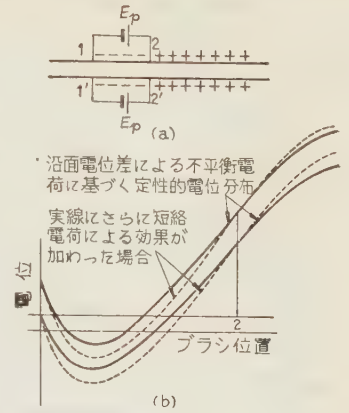
$= \sum_{j=1}^i E_{sj}$  なる電位確定点によって規正され、これが一

つの境界条件を与えていることになる。そこで、もし

ブラシ点 3' およびそれ以後のブラシが昇圧接続され

ていなければ、板面全体にわたる電位分布は第 14 図

のようになり、この際第 2 ブラシ以後の点における板

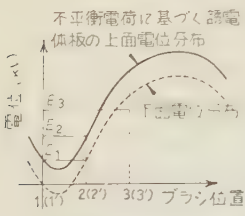


第 13 図 静電変圧機回転誘電体板上電位分布の定性的模様 (I)

第 13 図 (b) の実線に示されるようにブラシ 1—2 間では電位分布が下に突、第 2 ブラシ以後では電位分布が上に突になると考えられる。実際にはこのほかさらに上述の短絡現象によって、それぞれブラシ点 1 から 2' に向って流れる電流による電荷分布の変動を考慮しなければならない。この際の放電電荷量は、単位面積あたりはほぼ  $E_p C_{1-2'}$  程度の値とみなされる。ここで  $C_{1-2'}$  はブラシ点 1—2' 間の単位面積あたりの等価容量の値をとる。これに由来する電流はさきに述べたように、ブラシ点 1 から正電荷が流出する方向であり、その電荷はブラシ点 2' で中和される。したがって、上面 1—2 間の電荷はこれに相当する電荷だけ減少されることになり、1—2 間の電位降下はさらに低下して同図 (b) の点線のようになることが推察される。

なお、このようにして第 1—第 2 ブラシ間に生じた電荷密度の不均衡による電位分布の模様は、第 2 ブラシ以後の電位分布に対してもかなりの影響を与えているよう見受けられる。すなわち、第 2 ブラシ以後の電位分布については、その電荷分布と境界条件にしたがって、改めて方程式が解かれるべきであるが、いずれのブラシ点においてもその電位は、それぞれ  $E_s = \sum_{j=1}^i E_{sj}$  なる電位確定点によって規正され、これが一つの境界条件を与えていることになる。そこで、もしブラシ点 3' およびそれ以後のブラシが昇圧接続されていなければ、板面全体にわたる電位分布は第 14 図のようになり、この際第 2 ブラシ以後の点における板





第 14 図 静電変圧機回転  
誘電体板上電位分布の  
定性的模様 (II)

る。事実、第 2 ブラシと第 3 ブラシとの間に、 $E_p$  に等しい電圧をもつ電源のそう入を試みたところ、この電源が逆に充電される現象が、実験的に確かめられている。また、いままでの実験結果が示すように誘電体板の下面ブラシ点 3' 電位は、それに対向する上面ブラシ点 3 よりほぼ  $E_p$  だけ低い値にあるため、上面電位の上昇に伴って下面電位もそれだけ上昇し、これが上面ブラシ点 2 の電位よりもかえって高くなっている状態と考えられる。したがって実際にブラシ点 2 をブラシ点 3' と接続して、第 3 番目ブラシの昇圧接続を行うと、 $\sum_{j=1}^3 E_{sj}$  なる電位に規制されているブラシ点 3 のブラシには、その位置における板面上電位が降下する方向に電流が流れることになり、上面ブラシ 3 は正方向に、下面ブラシ点 3' は負方向すなわち上面ブラシ 2 を充電する方向に流れることになる。この電流方向がさきの第 12 図 (b) で三重矢印に示したものである。

以上を総合して、静電変圧機の無負荷運転状態において、上面ブラシ 2 に流れる電流は、短絡電流による一つの正方向電流に加えて、上面ブラシ点 1—2 間の沿面充電に流れる電流と板面上の電荷分布によって現われる電位分布に由来する電流の、二つの負方向電流が考えられる。そして実際にはこれらの総和として、ある一定の電流値が測定されることになる。また負荷時においては、これらの電流のほかにも当然正方向の負荷電流が流れ、これらが合成された値として負荷時の電流が定められることになる。なお、類似の現象が後段各ブラシに対しても同様にくり返されることによって、実験結果に現われるような各ブラシごとに幾分相違した電流が流れるようになるものと考えられる。

以上、一応ブラシ電極間で搬送電荷量が一定であるとみる仮定の上に立ったかなりおおざっぱな近似で、移動誘電体板面上の電位ならびに各ブラシの電流値が位置によって振動的に変化する状態の起る可能性を示した。これを要約すれば、昇圧接続によって生ずる沿面電位差あるいは局部的な短絡などに原因して、移動誘電体板の同一面上ないし上下両面間の電荷密度分布

面上の電位は、第 13 図 (b) あるいは第 2 図などから考えてかなり高い値となり、これが昇圧接続で規定されるブ

ラシ点 3 の電位  $\sum_{j=1}^3 E_{sj}$

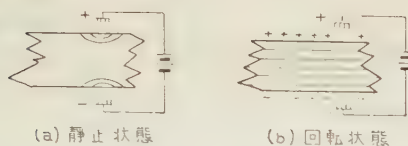
よりも高くなる傾向のあることが推察され

に局部的な不平衡を生ずれば、これによって誘電体板上の電位分布の直線的な上昇は乱れて、でこぼこ状になり、さらにこれら電位分布とブラシ点に付与される確定電位との間に補償作用が働いて、全体として振動的な電位分布、電流分布を構成する結果になると考えられる。

しかし、実際の静電変圧機においては前報にも触れたように、必ずしも板面上電荷密度が考察される範囲内で常に一定であるといえない点がある。まず漏れ電流の影響が考えられる。そのうち体積漏れ電流については、搬送電荷量にくらべて充分小さいとみなして大差はないようであるが、沿面漏れ電流については幾分考慮すべき点があると思われる。もっとも、今まで掲げた無負荷時の入力電流特性のなかには、すでに述べた昇圧接続した際の局部的な短絡電流などによる電荷消費分を補給するための電流が含まれていると考えられるため、真の沿面漏れ電流は図表中に表わされている無負荷電流からこの分を差し引いて考えなければならない。しかしいづれにしても漏れ電流は電荷分布の均一さを乱す一因であろう。次に板面上電荷密度を一様にしないいま一つの原因として、放電面積の広がりが考えられる。すなわち、ブラシ直下の放電は幾分の広がりをもち、ブラシ 1 で充電された電荷はブラシ 2 の直下において突然極性反転を生ずるわけではなくここに達する以前において、すでに漸次中和されてゆく過程が考えられる。しかしかかる電荷分布の条件を考慮に入れる場合には、電荷分布を、一応余弦関数その他で代表することによって、さきの場合と同様に取り扱うことができる。なおこのような電荷分布を導入することによってブラシ点近傍の電位分布の上昇・下降特性をさらに実際に近い説明にもってゆくことができるが、ここでは省略する。

(5) 電位がこのように誘電体板面上の位置に対して振動的な分布をすれば、局部的に電位の傾きを高め、沿面フラッシュオーバー電圧が低下する現象となって現われる。そのため静電変圧機の実用上の立場からすれば、この電位分布の振動形を制御して線形に変えることが必要になる。そのためには前項までの考察から、板上搬送電荷量を調節し、適当に変化させる必要がある。電荷分布の調節をどの板上位置で行うかによって補償電流値は異なり、制御の効果も変化する。第 10 図の実験結果から同図 (c) のブラシ位置番号 8 に電位制御ブラシを配置し、ブラシ 4 に 225  $\mu A$  の電流を流入させた場合がもっとも有効であった。

(6) 昇圧接続された回転誘電体板内部の電位分布、力線分布の模様を知ることは、表面電位分布の状態に



第 15 図 非昇圧状態の誘電体内部の等電位面

関連して、静電変圧機にとって興味のある問題である。

まず昇圧接続されていない誘電体が回転状態にはいり、搬送電荷がたい積されることによって、その等電位面は、静止状態における第 15 図(a) から同図(b) のように分布に移ることは容易に推察される。一方、誘電体板上に表面電荷がなく、ただ各ブラシ点が昇圧形の電位に規定された場合の電位・力線分布の模様は、第 8 図(a)および第 9 図に示した状態である。

したがって、回転中の誘電体板内の電位・力線分布はこれらの組み合わせによって得られるわけであるが、実数に近づくに考察したように、これに電荷の不均衡分布の影響が加って、その表面上電位分布は最終的には前述のような振動形の板上電位分布を呈するものと考えられる。

#### 4. 結 言

本報においては、静電変圧機の回転誘電体板上の電位分布と各ブラシに流れる電流に関する実験結果を示すとともに、それらに対する考察を行った。

前報に報告したように、静電変圧機を昇圧接続した場合の各ブラシ点電位ならびに入出力回路に流れる電流値に対しては、微小コンデンサ群の集合体とみなして取り扱うことができるが、これら各ブラシ間における誘電体板上で測定される電位分布は、各昇圧ブラシ点の電位を結んだ直線上には存在せず、それぞれの位置によってこの直線上から上下する振動的な電位分布の模様を呈している。また各ブラシに流れる電流も必ずしも当初仮定したような、常に各ブラシを通じて同一の値を示すものとは限らない傾向にあることが現われている。

本報の解析の結果、この現象は、一段昇圧形静電変圧機における昇圧原理に基づいて必然的に行われる直列接続によって、回転誘電体板上に沿面方向の電界が

生ずることが、その原因の出発点となっていることを結論した。そしてこの沿面電圧によって現われる誘電体の沿面方向充電、あるいは昇圧接続によって付随的に生ずる誘電体の局所的な短絡現象などに基づいて、誘電体板上に新たな電荷の蓄積・移動が起ることが、その直接的な原因となることを示した。すなわち、これらの電荷が入力側から搬送されてくる電荷に重ね合わせることによって、板面上電荷密度に局所的な非対称分布が現われ、これがその部分の電位分布を直線的な上昇・下降からずれたものに変えていることを示し、さらにこの第 1 ブラシと第 2 ブラシ間の電荷分布、および第 2 ブラシ点における充電状態によって現われる第 2 ブラシ以後の電位分布が、第 3 ブラシ以後の規定電位点に制御されることによって、それぞれのブラシ点を境にして電位の上昇・下降性が与えられ、その結果として、振動形の電位分布が現われるものと解釈を示した。なお強誘電体板で計算したこの振動電位分布は、誘電率に関係しない値として表現されているが、これは誘電率が空気に対して充分大きいと仮定したことによるもので、一般的にいって、誘電率が低くなればブラシ点での電荷の供給も不充分となり、またそれらの電荷が漏れ電荷あるいは電荷の中和現象などで消滅する割合も大きくなるため、やはり低誘電率のものは負荷特性が悪くなるとともに、振動的な傾向も弱くなるものと考えられる。

なお、この振動形電位分布は、沿面放電ともきわめて密接な関係にあるため、実用装置では制御する必要があるが、これは本文第 10 図のように、かなり完全に制御できることを示した。

最後に、本論文作成にあたって、日ごろ種々ご激励を賜っている松下電器中尾常務、西宮無線事業本部長ならびに常々有益なご助言を願っている大阪大学吹田教授、同大石助教授、また数多くの実験とその整理に多大の努力を願っている松下電器無線研究部早川、由山、滝内、岩田の諸氏に厚く感謝の意を捧げます。

(昭和 35 年 3 月 3 日受付, 同 35 年 7 月 7 日再受付)

#### 文 献

- (1) 吹田・城阪: 電学誌 **80**, 501 (昭 35)
- (2) N. J. Felici: Rev. Générale de L'électricité, **62**, No.1, 2, 3(1953)
- (3) 伏見: 物理学第 14 回年会講演 11 p-L, -10



UDC 517.11

## 多数決原理によるブール代数の展開について\*

資料・論文

35-108

正員 安宅彦三郎†

## 1. は し が き

周知のようにブール代数は電子計算機設計の基礎理論となっている。いままでのブール代数は論理和・論理積・否定の三つの基本演算をもとにして理論が展開されている。もちろん特殊な論理演算を取り上げた著者<sup>(1)</sup>もあった。たとえば Scheffer 氏の Stroke 演算, Peirce 氏の Peirce 演算などである。しかしこれらは一般に普及するにいたらなかった。他方, 実際の電子計算機をみると, 一般にトランジスタ形は論理和・論理積・否定の三つを基本回路として組み立てられていて, いままでのブール代数とよく適合している。しかるにパラメトロン形は多数決・否定の二つの基本回路をもとにして組み立てられている。そこでこの形に適合したブール代数が展開できないものだろうかという問題が提起された。

以下本文はこれに対する考察である。ブール代数の記号は著者<sup>(2)</sup>によって多少異なっているが, ここでは特別のものを除いて Phister 氏の著書<sup>(3)</sup>にしたがった。すなわち論理積は $\cdot$ , 論理和は $+$ , 否定は $-$ によって示した。しかし論理積の $\cdot$ は多くの場合省略する。

## 2. 多数決の定義

多数決の論理がもっとも明確にみられるのは, 要素が三つの場合である。いま  $A, B, C$  をブール数体の

第 1 表

$A$	$B$	$C$	$M$	$\bar{M}$
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	0

要素とし, これらが多数決を示す場合の真理表をつくると第 1 表のようになる。 $A, B, C$  が 0 と 1 をとる組み合わせの総数は  $2^3=8$  あり, 0 の数が 1 の数より多いとき多数決  $M$  は 0 となり, 1 の数が 0 の数より多いとき  $M$  は 1 となる。

$\bar{M}$  は  $M$  の否定である。

$M$  なる性質をもったブール関数を求めると,

$$M = ABC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} \\ = AB + BC + CA \quad \dots\dots\dots (1)$$

これから多数決の二三の特徴がみられる。すなわち多数決は要素の数が奇数でないと確定しないこと, 各要素は対等の資格をもっているから表式も当然各要素の対称式となっていること, 3 要素の多数決は二次の対称式であることなどである。(1) 式の両辺の否定をとると,

$$\bar{M} = \overline{AB + BC + CA} = \bar{A}\bar{B} + \bar{B}\bar{C} + \bar{C}\bar{A} \\ \dots\dots\dots (2)$$

これから多数決の否定は, 否定の多数決であることも知られる。

以下このような多数決を基本演算の一つとして, ブール代数を展開するのであるから, これを簡単な記号にしておく必要がある。種々考えた結果次のような記号に落ち着いた。

$A, B, C$  の多数決を  $(A, B, C)$  と書く。これは  $A, B, C$  の 2 次の対称式であるので  ${}_3M_2$  と書く。前者は要素を明示するとき用い, 後者は要素の数と次数を明示するとき用いる。すなわち

$${}_3M_2 = (A, B, C) = AB + BC + CA \quad \dots (3)$$

このようにすると  ${}_3M_2$  において  $M$  の代わりに  $C$  を書けば  ${}_3C_2$  となり, 直ちに対称式の項数を示すことになる。

ここで多数決の記号を一般的に次のように定義しておく。

定義: “ $(2n+1)$  個の要素  $A_1, A_2, \dots, A_{2n}, A_{2n+1}$  の多数決を  $(A_1, A_2, \dots, A_{2n+1})$  あるいは  ${}_{2n+1}M_{n+1}$  で示し, 必要に応じて  $M$  と略記する。”

## 3. 論理和・論理積

(3) 式に  $A=1$  あるいは  $A=0$  として直ちに,

$$\left. \begin{aligned} (1, B, C) &= B + C \\ (0, B, C) &= BC \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

これは論理和・論理積を多数決によって表示したもので, それぞれの意味を明確に読むことができる。すなわち,  $(1, B, C)$  は  $B, C$  がともに 0 のとき以外は 0 にならない。また  $B=1$  のときは  $(1, B, C)$  は  $(1,$

\* On the Development of Boolean Algebra by the Principle of the Majority. By H. ATAKA, Member (The Defense Academy).

† 防衛大学校, 交流理論講座担当

1, C) となり, C に無関係に 1, B=0 のときは (1, B, C)=(1, 0, C) となり, C のみによって定まることを示している。なんとすれば多数決の要素中に 1 と 0 があれば, これらは互に打ち消し多数決をとるとき省略してよいからである。これから (1, 0, C)=(C) であるが, (C) は要素が一つのときの多数決で C に等しい。以上は C について考えたが, B についても同様である。

また (0, B, C) は B, C がともに 1 のときに限って 1 になる。B が 1 のときは C のみによって定まり, B が 0 のときは C に無関係に 0 であることを示している。C についても同様である。

パラメトロン計算機では, (4) 式の実現するため 0 あるいは 1 に相当して, 0 相あるいは  $\pi$  相の固定位相の励振を加えていることは周知のとおりである。

#### 4. ブール代数の公準

ブール代数には幾何学の公理に相当するいくつかの公準がある。これらは証明なく直観的に納得すべきものとされている。すなわち,

$$\left. \begin{array}{l} \text{(i)} \quad A+B=B+A, \quad AB=BA \\ \text{(ii)} \quad A+0=A, \quad A0=0 \\ \text{(iii)} \quad A+1=1, \quad A1=A \\ \text{(iv)} \quad A+A=A, \quad AA=A \\ \text{(v)} \quad A+\bar{A}=1, \quad A\bar{A}=0 \end{array} \right\} \dots\dots (5)$$

これらを (4) 式を用いて多数決によって表示すると次のようになる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{(i)} \quad (1, A, B)=(1, B, A), \\ \quad \quad (0, A, B)=(0, B, A) \\ \text{(ii)} \quad (1, 0, A)=A, \quad (0, A, 0)=0 \\ \text{(iii)} \quad (1, A, 1)=1, \quad (0, A, 1)=A \\ \text{(iv)} \quad (1, A, A)=A, \quad (0, A, A)=A \\ \text{(v)} \quad (1, A, \bar{A})=1, \quad (0, A, \bar{A})=0 \end{array} \right\} \dots\dots (6)$$

(5) 式と (6) 式とを比較してみると, (5) 式の表式中には直観的に納得をこぼむものがある。たとえば, (5) 式の  $A+1=1, A+A=A, AA=A$  などである。しかしこれらを (6) 式のように多数決によって表示すると, それぞれ (1, A, 1)=1, (1, A, A)=A, (0, A, A)=A となり, 当然の結果として納得される。

これからブール代数の公準は多数決原理を表明したものであるといえる。そこでこれらの公準を通してみられる多数決原理についてまとめておく。

原理 (1) 多数決の各要素は対等の資格をも

つ。

原理 (2) 過半数の要素が一致すれば, 多数決はこの要素に等しい。

原理 (3) 要素中に同一要素の肯定と否定があればこれらは省略してよい。

原理 (1) から  $(A_1, A_2, \dots, A_{2n+1})$  の値は要素の順を任意に取り換えても変わらないことがわかる。原理 (2) から,  $(2n+1)$  個の過半数は  $(n+1)$  個であるから,

$$(\underbrace{X, X, \dots, X}_{n+1}, A_1, A_2, \dots, A_n) = X$$

ここで  $(n+1)$  個の要素が X であることを  $X^{n+1}$  と書くことにする。

$$(X^{n+1}, A_1, A_2, \dots, A_n) = X \dots\dots\dots (7)$$

また原理 (3) から,

$$\begin{aligned} (X, \bar{X}, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1}) \\ = (A_1, A_2, \dots, A_{2n+1}) \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

#### 5. 一般の多数決

いま要素が  $A_1, A_2, \dots, A_{2n+1}$  と  $(2n+1)$  個あるとし, その多数決  $(A_1, A_2, \dots, A_{2n+1})$  の展開式を考える。これら要素から任意に  $(n+1)$  個の組み合わせをとり, これらの要素がすべて 1 であるとする, 残りの要素の値に関係なく多数決は 1 である。したがって  $(2n+1)$  個の要素から  $(n+1)$  個の組み合わせをとって論理積をつくると  ${}_{2n+1}C_{n+1}$  個の異なった論理積が出てくる。これらの論理和をとれば, 多数決が 1 となるすべての場合はこれに含まれることになる。ブール代数の基本定理によって, 多数決はこのような  $(n+1)$  次の対称式で表現される。すなわち次の定理が出てくる。

定理 (1)  $(2n+1)$  個の要素からなる多数決は,  $(2n+1)$  個から  $(n+1)$  個をとった組み合わせの論理積の論理和からなる  $(n+1)$  次の対称式である。

次に多数決の否定を考える。第 1 表の  $M$  と  $\bar{M}$  の関係から明らかなように,  $\bar{M}$  は結局  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$  の多数決になっている。これを一般化して次の定理が出てくる。

定理 (2) 多数決の否定は, 否定の多数決である。これを式で表示すれば,

$$\overline{(A_1, A_2, \dots, A_{2n+1})} = (\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_{2n+1}) \dots\dots\dots (9)$$

#### 6. 対称式と多数決

定理 (1) によって多数決は要素の特定な対称式であ



った。それでは要素の他の対称式は多数決とどんな関係にあるかを考えたい。ここで  $n$  個の要素からなる  $i$  次の対称式を  ${}_nP_i$  で示すことにする。

まず考え方を具体化するため、 $A, B, C$  なる 3 個の要素についてみる。この場合、公準 (5) 式によって  $AA=A$  であるから、3 次までの対称式を考えれば充分である。

$$\left. \begin{aligned} {}_3P_1 &= A+B+C \\ {}_3P_2 &= AB+BC+CA \\ {}_3P_3 &= ABC \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

これらを多数決で表示すれば、次のようになることは直接計算から直ちに知られる。

$$\left. \begin{aligned} {}_3P_1 &= (1^2, A, B, C) \\ {}_3P_2 &= (A, B, C) \\ {}_3P_3 &= (0^2, A, B, C) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

このように要素に 1 あるいは 0 を適当に加えた多数決によって、任意の対称式を表示できそうである。これについて一般的に考える。

$(2n+1)$  個の要素の多数決  $(A_1, A_2, \dots, A_{2n}, A_{2n+1})$  において  $A_{2n+1}=0$  とすると、展開式中  $A_{2n+1}$  を含む項はすべて消滅し、 $A_{2n+1}$  を含まない項のみ残る。これは  $2n$  個の要素  $A_1, A_2, \dots, A_{2n}$  の  $(n+1)$  次の対称式となる。すなわち、

$$(0, A_1, A_2, \dots, A_{2n}) = {}_{2n}P_{n+1}$$

ここで  $A_{2n}=0$  とおくと、 $A_1, A_2, \dots, A_{2n-1}$  なる要素の  $(n+1)$  次の対称式となる。すなわち、

$$(0^2, A_1, A_2, \dots, A_{2n-1}) = {}_{2n-1}P_{n+1}$$

これを  $i$  回続けてゆくと次の定理となる。

定理 (3)  $i=1, 2, \dots, n$  として、

$$\left. \begin{aligned} (0^i, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i}) &= {}_{2n+1-i}P_{n+1} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

系 (3.1)  $i=(n+1), (n+2), \dots, 2n$  として、

$$(0^i, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i}) = 0 \dots\dots\dots (13)$$

次に  $A_{2n+1}=1$  においてみる。この場合展開式中  $A_{2n+1}$  を含まない項は  $A_{2n+1}=0$  としたものと同様に  ${}_{2n}P_{n+1}$  となる。残りの  $A_{2n+1}$  を含む項は 1 次低い  $n$  次の対称式  ${}_{2n}P_n$  となる。すなわち、

$$(1, A_1, A_2, \dots, A_{2n}) = {}_{2n}P_{n+1} + {}_{2n}P_n$$

ここでブール代数には公準 (5) 式の  $1+A=1$  があるから、対称式に関して一般に次の定理がある。

定理 (4)  $n$  個の要素の  $i$  次の対称式を  ${}_nP_i, j$  次の対称式を  ${}_nP_j$  とすれば、 $i \leq j \leq n$  のとき、

$${}_n\bar{P}_i {}_nP_j = 0, (i \leq j \leq n) \dots\dots\dots (14)$$

これは  ${}_nP_j$  が  ${}_nP_i$  に含まれることを示している。したがって、

$$\left. \begin{aligned} {}_nP_i + {}_nP_j &= {}_nP_i + {}_nP_j ({}_nP_i + {}_n\bar{P}_i) = {}_nP_i \\ {}_nP_i {}_nP_j &= {}_nP_i {}_nP_j + {}_n\bar{P}_i {}_nP_j = {}_nP_j \end{aligned} \right\}$$

これを定理 (4) の系にしておく。

系 (4.1)

$$\left. \begin{aligned} {}_nP_i + {}_nP_j &= {}_nP_i, {}_nP_i {}_nP_j = {}_nP_j, (i \leq j \leq n) \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

この系 (4.1) によって、

$$(1, A_1, A_2, \dots, A_{2n}) = {}_{2n}P_n$$

ここで  $A_{2n}=1$  とすると、同様な考察によって、

$$(1^2, A_1, A_2, \dots, A_{2n-1}) = {}_{2n-1}P_{n-1}$$

これを  $i$  回続けてゆくと次の定理となる。

定理 (5)  $i=1, 2, \dots, n$  として、

$$\left. \begin{aligned} (1^i, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i}) &= {}_{2n+1-i}P_{n+1-i} \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

系 (5.1)  $i=(n+1), (n+2), \dots, 2n$  として、

$$(1^i, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i}) = 1 \dots\dots\dots (17)$$

ここで  $(1^i, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i})$  の否定をとってみる。定理 (2) によって、

$$\begin{aligned} &\overline{(1^i, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i})} \\ &= (0^i, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_{2n+1-i}) \end{aligned}$$

ここで定理 (3) を応用して次の定理が出てくる。

定理 (6)  $i=1, 2, \dots, n$  として、

$$\begin{aligned} &{}_{2n+1-i}\bar{P}_{n+1-i}(A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i}) \\ &= {}_{2n+1-i}P_{n+1}(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_{2n+1-i}) \end{aligned} \dots\dots\dots (18)$$

この定理の表現には対称式の次数と同時に要素の関係を示す必要がある。たとえば  $A, B, C$  の 2 次の対称式を  ${}_3P_2(A, B, C)$  とする表示をとった。

同様に、 $(0^i, A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i})$  の否定をとることによって次の定理が出てくる。

定理 (7)  $i=1, 2, \dots, n$  として、

$$\begin{aligned} &{}_{2n+1-i}\bar{P}_{n+1}(A_1, A_2, \dots, A_{2n+1-i}) \\ &= {}_{2n+1-i}P_{n+1-i}(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_{2n+1-i}) \end{aligned} \dots\dots\dots (19)$$

定理 (3), (5) において  $i=n$  として得られる次の公式は、きわめて有用である。

$$\left. \begin{aligned} (0^n, A_1, A_2, \dots, A_{n+1}) &= A_1 A_2 \dots A_{n+1} \\ (1^n, A_1, A_2, \dots, A_{n+1}) &= A_1 + A_2 + \dots + A_{n+1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

これらの否定をとると、

$$\left. \begin{aligned} (1^n, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_{n+1}) &= \bar{A}_1 + \bar{A}_2 + \dots + \bar{A}_{n+1} \\ (0^n, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_{n+1}) &= \bar{A}_1 \bar{A}_2 \dots \bar{A}_{n+1} \\ &\dots\dots\dots(21) \end{aligned} \right\}$$

これらは定理 (6), (7) に  $i=n$  としても得られる。

このように同一要素が  $n$  回くり返される時、室賀氏<sup>(4)</sup> は結合度が  $n$  であるという表現をしていられる。

## 7. 基 本 定 理

$n$  個の要素  $A_1, A_2, \dots, A_n$  に 0 あるいは 1 を与えることによって生ずる組み合わせの総数は  $n$  けたの 2 進数のすべてであるから  $2^n$  個ある。これら  $2^n$  個の組み合わせのうち、ある特定の組み合わせに対してのみ 1 となり、残りの  $(2^n - 1)$  個の組み合わせに対しては 0 となるようなブール関数を多数決で求めたい。説明に便のため  $n=4$  とし、特定の組み合わせを 1101・12 とする。ここで、

$$m_{13} = (0^3, A_1, A_2, \bar{A}_3, A_4)$$

なる多数決をみると、 $A_1=A_2=A_4=1, A_3=0$  のときは  $m_{13}=(0^3, 1^4)=1$  となるが、残りの組み合わせに対しては 0 となる。

一般に  $n$  個の要素において、 $i=0, 1, 2, \dots, (2^n - 1)$  として、

$$m_i = (0^{n-1}, \bar{A}_1, A_2, \dots, \bar{A}_{n-1}, A_n) \dots\dots(22)$$

とおき、 $i$  を肯定要素を 1、否定要素を 0 とおいた  $n$  けたの 2 進数の 10 進読みとすれば、 $m_i$  は  $i$  なる組み合わせのときだけ 1 で、残りのすべての組み合わせに対しては 0 となる。 $m_i$  を  $n$  個の要素の組み合わせ  $i$  に対する Minterm という。

Minterm には次の性質がある。

$$(0, m_i, m_j) = 0, (i \neq j) \dots\dots\dots(23)$$

これは Minterm の性質から  $m_i$  と  $m_j$  は  $i \neq j$  のとき同時に 1 となることがない。したがって  $(0, m_i, m_j)$  は決して 1 になりえないことから明らかである。また

$$(1^{2^n-1}, m_0, m_1, \dots, m_{2^n-1}) = 1 \dots\dots\dots(24)$$

これは要素にどんな 0, 1 の組み合わせを与えても、 $m_i$  のなかには必ず 1 となるものが一つだけある。したがってこの多数決は 1 が過半数の  $2^n$  個となるから 1 である。

次にブール関数  $F$  が要素  $A_1, A_2, \dots, A_n$  の関数であることおよびその真理表が与えられたとき、 $F$  を  $A_1, A_2, \dots, A_n$  をもって表示することを考える。要素に 0, 1 を与えて得られるある組み合わせ  $k$  に対する  $F$

の値を  $f_k$  とする。 $f_k$  は 0 か 1 で、その値は真理表から直ちに出てくる。組み合わせ  $k$  に対する Minterm を  $m_k$  とすれば、

$$F = (1^{2^n-1}, f_0 m_0, f_1 m_1, \dots, f_{2^n-1} m_{2^n-1})$$

証明は次のとおりである。

ある組み合わせ  $k$  に対する  $F$  の値は  $f_k$  であるが、いま  $f_k=1$  であるとする。このとき  $F=1$  である。他方右辺の多数決をみると、この組み合わせに対しては  $m_k=1$  であるから  $f_k m_k=1$  となり、1 の要素数は  $2^n - 1 + 1 = 2^n$  で過半数であるから多数決は 1 となり  $F$  と同値である。また  $f_k=0$  とすれば、このとき  $F=0$  である。他方右辺の多数決をみると、 $f_k m_k$  は  $m_k=1$  であるが  $f_k=0$  だから 0 となり、他の要素はこのとき Minterm が 0 であるからすべて 0 である。結局、多数決は  $(1^{2^n-1}, 0^{2^n})=0$  となり  $F$  と同値である。この関係は  $k=0, 1, 2, \dots, (2^n - 1)$  のすべてに対してなりたつから、 $F$  と多数決は常に等しい。よって次の定理が出てくる。

**定理 (8)**  $n$  個の要素の任意のブール関数を  $F$ 、組み合わせ  $k$  に対する値を  $f_k$ 、Minterm を  $m_k$  とすれば、

$$F = (1^{2^n-1}, f_0, m_0, \dots, f_k m_k, \dots, f_{2^n-1} m_{2^n-1}) \dots\dots\dots(25)$$

これをブール代数の基本定理という。ここで注意を要するのは、 $f_k m_k=0$  となったとき、これを簡単に省略できないことである。0 は多数決の重要な要素であるからである。省略するときは必ず 1 と組み合わせる原理 (3) によって行わなければならない。

## 8. 多数決の多数決

多数決の要素があまりに多いとき、これら要素をいくつかの小群に分けてそのなかで多数決をとり、次にこれら小群の多数決をとることは、実際上選挙などにおいてしばしば行われている。一般の場合は複雑になるので、小群の要素を 3 とし、小群がただ一つある場合を考える。

具体的な例として  $(1, 1, 0, 0, 0)=0$  があるとき、これを小群に分けてみると次のようになる。

$$\begin{aligned} \{1, 1, (0, 0, 0)\} &= 1, \{1, 0, (1, 0, 0)\} = 0, \\ \{0, 0, (1, 1, 0)\} &= 0 \end{aligned}$$

明らかに正しい場合もあり、正しくない場合もある。これは小群に分けることに対して、なにか条件があることを推察させる。

そこで、

$$(A, B, C, D, E) = \{A, B(C, D, E)\} \dots(26)$$



がなりたつための, 必要にして充分な条件を考えてみる。直接計算によって,

$$\begin{aligned} (A, B, C, D, E) &= (A+B)P_2 + ABP_1 + P_3 \\ \{A, B, (C, D, E)\} &= (A+B)P_2 + AB \end{aligned} \quad \}$$

ただし

$$P_1 = C + D + E, \quad P_2 = CD + DE + EC,$$

$$P_3 = CDE$$

与えられた式がなりたつためには,

$$ABP_1 + (A+B)P_2 + P_3 = AB + (A+B)P_2$$

この式はブール代数方程式であるので, その方法にしたがって, 次のように書きかえる。

$$\begin{aligned} \{ABP_1 + (A+B)P_2 + P_3\} \{ \overline{AB + (A+B)P_2} \} \\ + \{ \overline{ABP_1 + (A+B)P_2 + P_3} \} \\ \times \{ AB + (A+B)P_2 \} = 0 \end{aligned}$$

これを計算して, (付録1 参照)

$$ABC\bar{D}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}CDE = 0 \quad \dots\dots\dots (27)$$

これが求める条件である。

$A=C$  とするとこの条件は満たされる。よって次の公式が出てくる。

$$\begin{aligned} (A, A, B, C, D) - \{A, B, (A, C, D)\} \\ \dots\dots\dots (28) \end{aligned}$$

これから要素が五つのとき少なくともその二つの要素が相等しいとき, 小群に分けて多数決をとってよい。ただし小群と大群には同じ要素が一つずつ分かれてはいなければならない。これから  $(1, 1, 0, 0, 0)$  は  $\{1, 1, (0, 0, 0)\}$  にはならないことがわかる。

これをもう少し一般的に考える。

$$\begin{aligned} (A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}, X, Y, Z) \\ = \{A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}, (X, Y, Z)\} \end{aligned}$$

がなりたつための必要にして充分な条件を求める。

定理 (1) によって与えられた式の両辺の多数決を展開する。

$$\begin{aligned} (A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}, X, Y, Z) \\ = P_3 P_{n-2} + P_2 P_{n-1} + P_1 P_n + P_{n+1} \\ \{A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}, (X, Y, Z)\} = P_2 P_{n-1} + P_n \end{aligned}$$

ただし  $P_1, P_2, P_3$  は  $X, Y, Z$  の 1 次, 2 次, 3 次の対称式で,

$$\begin{aligned} P_1 &= X + Y + Z, \quad P_2 = XY + YZ + ZX, \\ P_3 &= XYZ \end{aligned}$$

また  $P_{n-2}, P_{n-1}, P_n, P_{n+1}$  は  $A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}$  に関するそれぞれ  $(n-2)$  次,  $(n-1)$  次,  $n$  次,  $(n+1)$  次の対称式であって,  $n > 2$  としておく。

与えられた式がなりたつためには,

$$P_3 P_{n-2} + P_2 P_{n-1} + P_1 P_n + P_{n+1} = P_2 P_{n-1} + P_n$$

これから,

$$\begin{aligned} (P_3 P_{n-2} + P_2 P_{n-1} + P_1 P_n + P_{n+1}) \{ \overline{P_2 P_{n-1} + P_n} \} \\ + \{ \overline{P_3 P_{n-2} + P_2 P_{n-1} + P_1 P_n + P_{n+1}} \} \\ \times (P_2 P_{n-1} + P_n) = 0 \end{aligned}$$

計算の結果は次のようになる。(付録2)

$$XYZP_{n-2}P_{n-1} - XYZP_nP_{n+1} = 0$$

これを定理にしておく。

定理 (9)

$$\begin{aligned} (A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}, X, Y, Z) \\ = \{A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}, (X, Y, Z)\} \dots\dots (29) \end{aligned}$$

がなりたつために必要にして充分な条件は,

$$\begin{aligned} XYZP_{n-2}\bar{P}_{n-1} + \bar{X}\bar{Y}\bar{Z}P_nP_{n+1} = 0 \\ (n > 2) \dots\dots\dots (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} XYZ\bar{A}_1\bar{A}_2 + \bar{X}\bar{Y}\bar{Z}A_1A_2 = 0 \\ (n = 2) \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

ただし  $P_{n-2}, P_{n-1}, P_n, P_{n+1}$  は  $A_1, A_2, \dots, A_{2n-2}$  のそれぞれ  $(n-2)$  次,  $(n-1)$  次,  $n$  次,  $(n+1)$  次の対称式である。

## 9. あとがき

以上展開したように, ブール代数の公準は多数決原理からみると直観的に当然のこととして納得できる。この意味においてブール代数は多数決代数といっても過言でなさそうである。したがって多数決と否定をブール代数の基本演算として採用することには充分な妥当性が認められる。それではブール代数のすべての事項がこれら二つの演算によって記述されているかという点, 本文でも明らかにように, 論理和・論理積の演算が随所に援用されている。これは多数決原理に基づいた定理・公式の整備が不十分なためで, 今後の研究に待たねばならない。

多数決がこのようにブール代数の基本演算として考えられ, パラメترون形電子計算機においてすでに実施されているとすると, 他の形の計算機においてもこの考想はなりたつものと思っている。

本文は防衛大電子計算機研究会の研究者の示唆によって進めたもので記して深く謝意を表する。(昭和 35 年 2 月 24 日受付, 同 35 年 7 月 15 日再受付)

## 付 録 1

$$\begin{aligned} \{ABP_1 + (A+B)P_2 + P_3\} \{ \overline{AB + (A+B)P_2} \} \\ + \{ \overline{ABP_1 + (A+B)P_2 + P_3} \} \\ \times \{ AB + (A+B)P_2 \} = 0 \end{aligned}$$

第1項

$$\begin{aligned}
 &= \{ABP_1 + (A+B)P_2 + P_3\} \\
 &\quad \times (A+\bar{B})(\bar{A}\bar{B} + \bar{P}_2) \\
 &= \{(\bar{A}\bar{B} + A\bar{B})P_2 + (\bar{A} + \bar{B})P_3\}(\bar{A}\bar{B} + \bar{P}_2) \\
 &= \bar{A}BP_2 = \bar{A}BCDE
 \end{aligned}$$

...2項

$$\begin{aligned}
 &= (\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})(\bar{A}\bar{B} + \bar{P}_2)\bar{P}_3\{AB + (A+B)P_3\} \\
 &= \bar{P}_3(\bar{A}\bar{B} + \bar{P}_2)(\bar{A}BP_2 + ABP_2 + AB\bar{P}_1) \\
 &= AB\bar{P}_1\bar{P}_2\bar{P}_3 = AB(\bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3) = AB\bar{P}_1 \\
 &= AB(\bar{C} + \bar{D} + \bar{E}) = AB\bar{C}\bar{D}\bar{E}
 \end{aligned}$$

以上の計算には定理(4)によって,

$$\bar{P}_1P_2 = \bar{P}_2P_3 = 0, \quad P_1 + P_2 = P_1, \quad P_2 + P_3 = P_2$$

なる関係を用いてある。したがって求める条件は,

$$AB\bar{C}\bar{D}\bar{E} + \bar{A}BCDE = 0$$

## 付 録 2

$$\begin{aligned}
 &(P_3P_{n-2} + P_2P_{n-1} + P_1P_n + P_{n+1}) \\
 &\quad \times (\bar{P}_2\bar{P}_{n-1} + \bar{P}_n) \\
 &\quad + (\bar{P}_3P_{n-2} + \bar{P}_2\bar{P}_{n-1} + \bar{P}_1P_n + \bar{P}_{n+1}) \\
 &\quad \times (P_2P_{n-1} + P_n) = 0
 \end{aligned}$$

定理(4)に留意して計算する。

第1項

$$\begin{aligned}
 &= (P_3P_{n-2} + P_2P_{n-1} + P_1P_n + P_{n+1}) \\
 &\quad \times (\bar{P}_2 + \bar{P}_{n-1})\bar{P}_n \\
 &= \bar{P}_n(P_1\bar{P}_2\bar{P}_n + P_{n+1}\bar{P}_2 + P_3P_{n-2}\bar{P}_{n-1}) \\
 &= P_3P_{n-2}P_{n-1}\bar{P}_n = P_3(P_{n-2} + P_{n-1} + P_n) \\
 &= P_3(\bar{P}_{n-2} + \bar{P}_{n-1}) = P_3P_{n-2}P_{n-1} \\
 &= XYZP_{n-2}P_{n-1}
 \end{aligned}$$

第2項

$$\begin{aligned}
 &= (P_3 + P_{n-2})(\bar{P}_2 + \bar{P}_{n-1})(\bar{P}_1 + \bar{P}_n)\bar{P}_{n+1} \\
 &\quad \times (P_2P_{n-1} + P_n) \\
 &= \bar{P}_{n+1}(\bar{P}_3 + \bar{P}_{n-2})(\bar{P}_2 + P_{n-1}) \\
 &\quad \times (\bar{P}_1P_n + P_2P_{n-1}\bar{P}_n) \\
 &= \bar{P}_{n+1}(P_3 + P_{n-2})P_1P_2P_n = \bar{P}_1\bar{P}_2\bar{P}_3P_n\bar{P}_{n+1} \\
 &= (\bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3)P_n\bar{P}_{n+1} \\
 &= \bar{P}_1P_n\bar{P}_{n+1} = \bar{X}\bar{Y}\bar{Z}P_n\bar{P}_{n+1}
 \end{aligned}$$

したがって求める条件は,

$$XYZP_{n-2}\bar{P}_{n-1} + \bar{X}\bar{Y}\bar{Z}P_n\bar{P}_{n+1} = 0$$

## 文 献

- (1) H. M. Shaffer: Trans. American Math. Society **14**, 481 (1913)
- (2) R. Serrell: Proc. Inst. Radio Engrs **41**, 1366 (1953)
- (3) M. Phister: Logical Design of Digital Computer p. 31 (1957)
- (4) 室賀: 信学誌 **42**, 993 (昭 34)



UDC 539.125.074.822.3 : 621.387.46.015.5

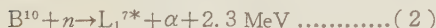
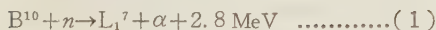
BF<sub>3</sub> 比例計数管の放電および計数特性\*

資料・論文

35-109

正員 山 根 幹 也†

## 1. 緒 言

BF<sub>3</sub> 比例計数管の動作原理は(L<sub>1</sub><sup>7\*</sup>: 励起状態)

の反応生成物の電離パルスを計数して中性子を検出する。<sup>(1)</sup> これらの反応の断面積は遅い中性子に対して B<sup>10</sup> では  $3,960 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ , 天然の B では  $730 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$  で計数効率がきわめて高く, かつ比電離能の大きい  $\alpha$  粒子を放射するのでかなり大きいパルスを生ずる。

本計数管においてもっとも強く要求される点は, 中性子束測定に正確な値を期すことから出力パルス波高値がそろうことである。このことはまた(1)式および(2)式の反応生成物による電離量, およびこれに引き続いて起きる放電の気体増幅が一行われているか否かという問題に帰せられる。反応生成物による電離量は封入圧が低く反応生成物の飛程が管壁の影響を受けるような場合を除けば一定と考えられるから, パルス波高値のそろう問題, いいかえれば計数管性能の良否は放電(気体増幅)の行われ方いかんに関係すると考えてよい。したがって本論文では, 試作計数管の計数特性を測定するとともに, 放電特性をも測定して動作機構の解明を試みた。測定結果について検討を加えてあるが, 放電学的見地から行ったものであり, いいかえれば BF<sub>3</sub> 比例計数管の放電的研究である。

## 2. 実験条件

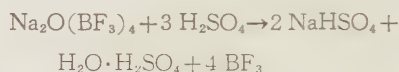
(2.1) 計数管の構造 本実験に使用した計数管の構造を第1図に示す。本体の陰極円筒は 26.5 mm  $\phi$  の無酸素銅, 中心線は 0.1 mm  $\phi$  のタングステン線で, この両端をエンドピース, コパルターミナルで封じている。実効長は 205 mm, 計数容積は 100 cc である。管壁で吸収される中性子損は銅の熱中性子吸収断面積  $\sigma = 3.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ , 管壁厚  $l = 0.75 \text{ mm}$ , 銅



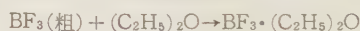
第1図 計数管の構造

の 1 cc あたりの原子数  $N = 8.5 \times 10^{22} / \text{cm}^3$  から  $N\sigma l \approx 2.3 \times 10^{-2}$ , すなわち 2.3% 吸収される。管壁吸収損を小さくするため管壁厚を薄くすることが望ましいが, この程度の大きさと構造では, 機械的に 0.75 mm が限界であった。

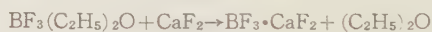
(2.2) 封入 BF<sub>3</sub> ガス 粗製 BF<sub>3</sub> ガスを作るにはいろいろ方法があるが, 筆者はナトリウムフルオボラックスに硫酸を混ぜて加熱した。この反応は次式で示される。



粗製 BF<sub>3</sub> ガスの精製は Hudswell 氏らの方法<sup>(2)</sup>にしたがって行った。この方法の眼目は粗製 BF<sub>3</sub> ガス中に本質的に含まれる SiF<sub>4</sub>, HF, H<sub>2</sub>O を除去するとともに, 操作過程で他の永久気体をも排除することである。この方法を要約すると



BF<sub>3</sub>(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>O を真空蒸留する。



(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>O を蒸発除去し, BF<sub>3</sub>·CaF<sub>2</sub> を真空乾燥する。



の操作を行って BF<sub>3</sub> を精製するのである。最後の工程の BF<sub>3</sub>·CaF<sub>2</sub> の加熱分解は高真空にひいたステンレス容器内で行った。ガラスフラスコでは, BF<sub>3</sub> は 400°C でガラスを腐食し SiF<sub>4</sub> を発生するから用いることはできない。

以上の操作で発生した BF<sub>3</sub> はあらかじめ炉内でベーキングされた数段のトラップで冷却固化, 蒸発の操作を反復して純度を高めた。

かくして得られた BF<sub>3</sub> ガス試料を逐一質量分析に付し, これの純度を確認したうえ, 計数管に封入して性能を検討した。純度は 99% 以上のものが得られている。

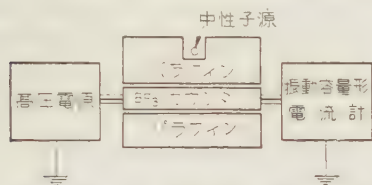
\* Ionization and Counting Properties of Boron Trifluoride Proportional Counters. By M. YAMANE, Member (Hitachi Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.).

† 日立製作所中央研究所

以上の操作より明らかなように本実験では天然  $\text{BF}_3$  を封入しているが、濃縮  $\text{B}^{10}\text{F}_3$  もほぼ同じ操作で精製することが可能である。

### 3. 実験 1. $\text{BF}_3$ 計数管の放電特性

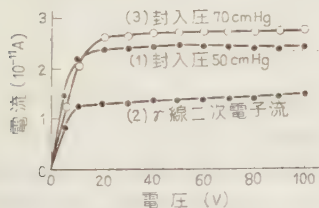
(3・1) 測定方法  $\text{BF}_3$  計数管の計数特性を測定する前に、本計数管の放電の挙動を知るため第2図に示す回路で電流-電圧特性を測定した。直流電源は低圧では蓄電池、高圧では可変安定電源 (500~5,000V) を用いた。電流測定は振動容量形微小電流計 (川口電



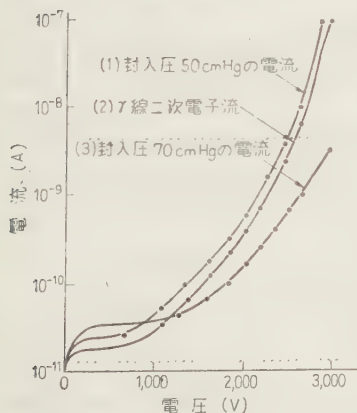
第2図  $\text{BF}_3$  計数管電流-電圧測定図

機 MMA Ⅲ 形、最高感度  $10^{-12}\text{A}$ ) を使用した。計数管はパラフィン内に設置され、 $\text{Ra}+\text{Be}$  (20 mg) 中性子源で中性子を照射している。

(3・2) 測定結果 封入圧 50 cmHg, および 70



第3図  $\text{BF}_3$  計数管電流-電圧曲線



第4図  $\text{BF}_3$  計数管電流-電圧曲線

cmHg の計数管で求めた電流-電圧特性を第3図、第4図に示す。第3図および第4図の曲線(1)は封入圧50 cmHg の計数管で、 $\text{B}^{10}(\text{n}, \alpha)\text{Li}^7$  反応生成物による電流と管壁から放出される  $\gamma$  線二次電子電流の和を示す。印加電圧約 10 V で電流は飽和し、計数管内に発生したイオンはほとんど全部電極に捕集されていることを示している。この平坦な電離箱領域は約

600 V まで続き、600 V から放電を開始し比例計数管領域にはいる。これ以上の電圧では電流は急激に増加している。

曲線(2)は同じ計数管を厚さ 1 mm の Cd 板で被覆し、熱中性子をしゃ断し、 $\gamma$  線による二次電子電流を示す。Cd の熱中性子吸収断面積  $\sigma=3,100 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ , Cd の密度  $N=4.65 \times 10^{22}/\text{cc}$ , 厚さ  $l=1 \text{ mm}$  であるから中性子が Cd 板を通過する割合は  $e^{-N\sigma l}=e^{-14.4}$  であってほとんど通過しない。(1)および(2)の曲線の傾向はほとんど同じであるが、気体増幅の行われている比例計数管領域の電流比は電離箱領域の電流比と実験誤差内で一致していることである。これは比例計数管の文字どおり、気体増幅された電流は放射線により発生したイオン数に比例していることを示している。

曲線(3)は、封入ガス圧の差を検討するため 70 cmHg 封入管で求めた曲線である。電離箱領域の電流値が大きいの  $\text{B}^{10}(\text{n}, \alpha)\text{Li}^7$  反応の増加によるものである。電離箱領域が長く、また比例計数管の気体増幅はゆるやかである。

(3・3) 検 討 電離箱領域の飽和領域は放射線の電離によるイオンをすべて電極に捕集する領域である。曲線(1)は中性子および  $\gamma$  線に起因する電流、(2)は  $\gamma$  線のみに起因する電流で、したがって(1)-(2)は 50 cmHg 管の中性子に起因する電流を示す。

同様に(3)-(2)は封入圧 70 cmHg 管の中性子に起因する電流を示す。これらの値を第1表に表示するが、中性子のみによる電流は、ほぼ封入圧、したがって反応数に比例している。

第1表  $\text{BF}_3$  計数管電離箱領域飽和電流

封入圧 50 cmHg, 電流 (1)	封入圧 70 cmHg, 電流 (3)	$\gamma$ 線二次電子流 (2)	(1)-(2)	(3)-(2)	(3)-(2)/(1)-(2)	封入圧比
$2.4 \times 10^{-11} \text{ A}$	$2.8 \times 10^{-11} \text{ A}$	$1.0 \times 10^{-11} \text{ A}$	$0.8 \times 10^{-11} \text{ A}$	$1.2 \times 10^{-11} \text{ A}$	7.5/5	7/5

次に封入圧 50 cmHg 管の中性子に起因する電流、すなわち(1)-(2)の値と  $\text{B}^{10}(\text{n}, \alpha)\text{Li}^7$  の反応数(計数率の測定から求められる)より、次のような過程で  $\text{BF}_3$  ガス中に1イオン対発生に消費するエネルギーを求めることができる。

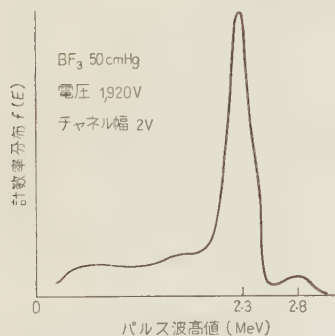
計数管電流は毎秒発生するイオン対による電流であるから次式で示される。

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{\text{B}^{10}(\text{n}, \alpha)\text{Li}^7 \text{ で発生するエネルギー}}{\text{1イオン発生に消費するエネルギー}} \times 1.6 \times 10^{-19} \times \text{計数率} \dots \dots \dots (3)$$



ここで計数率とは毎秒測定されるパルス数で  $B^{10}(n, \alpha)Li^7$  の反応数に等しい。

ところで  $B^{10}(n, \alpha)Li^7$  反応で発生するエネルギーは 93 % が 2.3 MeV, 7 % が 2.8 MeV である。しかし管内で消費される分は管壁効果を受けるため、これより若干小さくなる。管内消費の平均エネルギーは



第 5 図 BF<sub>3</sub> 計数管パルス波高分布曲線

パルス波高分布曲線 (エネルギー分布曲線) より求められるが、封入圧 50 cmHg 管では第 5 図に示す曲線となり、(これらの測定方法、測定結果については近く報告の予定) これより

数値計算により、

$$\bar{E} = \frac{\int E f(E) dE}{\int f(E) dE} = 1.98 \text{ MeV} \dots\dots (4)$$

となる。 $f(E)$  はパルス分布曲線。またこの場合の計数率は 920 c/s であった。

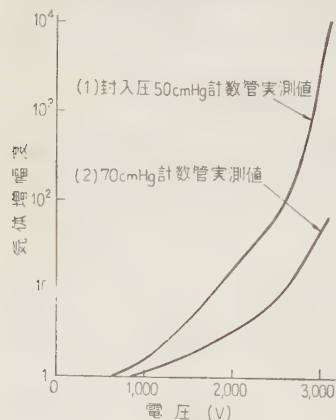
これらの値を (3) 式に代入して

$$0.8 \times 10^{-11} = \frac{1.98 \times 10^6}{x} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 920$$

$$x = 36.3 \text{ eV}$$

が得られた。この値は Bortner 氏<sup>(3)</sup> の 36 eV, Biber 氏<sup>(4)</sup> の 35.3 eV に比較して非常によく一致している。

次に比例計数管領域は第 4 図の例では 50 cmHg 封



第 6 図 BF<sub>3</sub> 計数管気体増幅度

入管で 600 V, 70 cmHg 封入管で 800 V から始まっている。高压のほうは 3,000 V 以上までこの領域が続く、GM 領域は測定範囲にあらわれていない。

さて比例計数管におけるもっとも大切な量は

気体増幅度であるが、第 4 図の電圧 - 電流曲線から比例計数管領域各電圧に対する電流と電離箱領域の飽和電流の比をプロットして求めたのが、第 6 図の曲線 (1) および (2) である。気体増幅度  $M$  は Townsend の電離係数  $\alpha$  を  $r_0$  より中心線半径  $a$  まで積分したもので次式で与えられる。

$$M = \exp \int_{r_0}^a \alpha dr \dots\dots (5)$$

ここで  $r_0$  は中心からの距離で、電子が充分エネルギーを持ち電離を開始する場所であるが、ある特定の  $(E/p)_{crit}$  を持つところである。気体増幅を開始する電圧、すなわち電離箱領域から比例計数管領域に移り変わる電圧  $V_i$  ではちょうど中心線表面で電離がはじまり、この表面の  $E/p$  が特定の値  $(E/p)_{crit}$  を持つ。なお印加電圧が  $V$  のときは  $r_0$  で、また  $V_i$  のときは中心線表面で特定の  $(E/p)_{crit}$  をとるから

$$(E/p)_{crit} = \frac{1}{p} \frac{V}{r_0 \ln \frac{b}{a}} = \frac{1}{p} \frac{V_i}{a \ln \frac{b}{a}} \dots\dots (6)$$

ただし  $b$ : 計数管の半径

になりたち、次式を得る。

$$\frac{r_0}{a} = \frac{V}{V_i} \dots\dots (7)$$

(7) 式は電圧  $V$  を高めるにしたがい、 $r_0$  は比例的に大きくなることを意味している。

次に  $\alpha$  の値であるが、BF<sub>3</sub> ガスについてはまだ求められていないので、これを求めてみる。電界の強さ  $E$  は  $E = E_{max} a/r$  で与えられるから、(5) 式の気体増幅度は次式で示される。

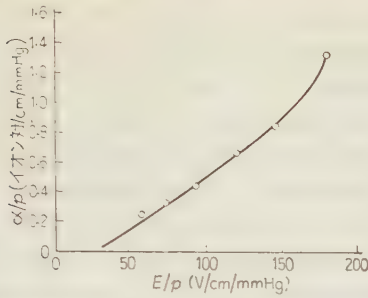
$$M = \exp \int_{(E/p)_{crit}}^{(E/p)_{max}} \alpha p \left( \frac{\alpha}{p} \right) \left( \frac{E}{p} \right)^{-2} \left( \frac{E}{p} \right)_{max} \times d(E/p) \dots\dots (8)$$

ここで  $E_{max}$  は中心線表面の電界強度であるが、(8) 式を  $(E/p)_{max}$  で微分して

$$\frac{1}{\alpha p} \left\{ \left( \frac{E}{p} \right)_{max} \frac{d}{d \left( \frac{E}{p} \right)_{max}} \ln M - \ln M \right\} = (\alpha/p)_{max} \dots\dots (9)$$

を得る。 $(\alpha/p)_{max}$  は中心線表面の Townsend 電離係数である。さらに

$$E_{max} = \frac{V}{a \ln \frac{b}{a}} \dots\dots (10)$$

第 7 図  $\text{BF}_3$  ガスの Townsend 電離係数

の関係式を用いて(9)式は次式で示される。

$$\left(\frac{\alpha}{p}\right)_{\text{Townsend}} = \left(\frac{E}{p}\right)_{\text{Townsend}} \ln \frac{b}{a} \cdot \frac{d}{dV} \ln M - \frac{1}{ap} \ln M \dots \dots \dots (11)$$

(11)式と第6図の気体増幅度曲線から求めた Townsend 電離係数の値を第7図に示す。また図から近似的に

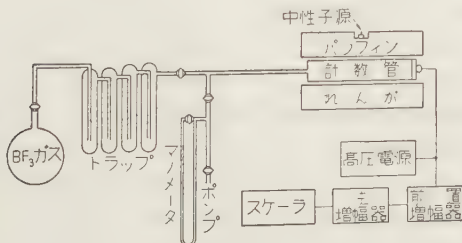
$$\frac{\alpha}{p} = 0.0067 \left( \frac{E}{p} - 25 \right) \dots \dots \dots (12)$$

と表わすこともできる。

#### 4. 実験 2. 計数特性の測定

(4.1) 測定方法 計数率の測定は第8図に示す構成回路で行った。計数管を排気系に取り付け、これに10 cmHg～1 気圧の圧力で  $\text{BF}_3$  を封入して計数率を測定し、封入圧と計数率の関係、封入圧と動作電圧の関係を検討した。また  $\text{BF}_3$  ガス試料をとりかえ、ガス純度と計数率特性の関係も検討できるようにした。計数管は測定前 400°C でベーキングを行い、測定時には側面および上面をパラフィンで被覆し、中性子で照射する。中性子源は計数管中央上部 3.5 cm の位置に固定した。

パルス増幅器の特性は前置増幅器を含めて最大利得 104 dB, Rise time 0.5  $\mu\text{s}$ , Clipping time 5  $\mu\text{s}$  であ

第 8 図  $\text{BF}_3$  計数管測定回路構成図

る。

高圧電源は 500～5,000 V の可変安定電源で、変動率は 0.1 % 以下である。波高選別器は 20 V 以上のパルスを計数しうるようバイアス電圧を加えた。

さらに回路について問題となるのは、計数管およびこれに接続するケーブルの漂遊容量である。すなわち比例計数管のパルス波高値  $V_p$  は

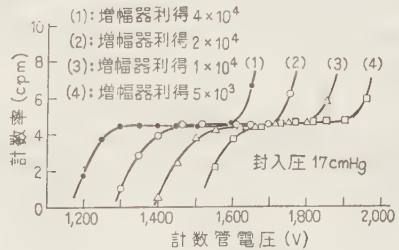
$$V_p = \frac{Mne}{C} \dots \dots \dots (13)$$

ただし、 $M$ : 気体増幅度、 $n$ : 放射線による一次電離イオン数、 $C$ : 漂遊容量

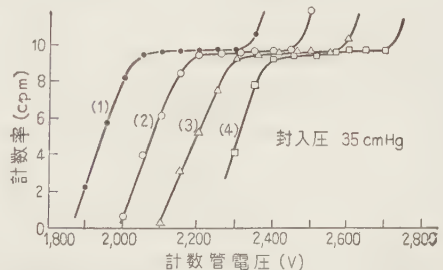
で与えられ、実際使用するにあたっては  $C$  を小さくすることが望ましい。本実験ではケーブル長約 5 m,  $C \approx 500$  pF の状態で測定を行った。

(4.2) 封入圧と計数率曲線  $\text{B}^{10}(n, \alpha)\text{Li}^7$  反応生成物の飛程は封入圧に関係し、したがって管壁効果を受ける程度が異なり、パルス波高分布の広がり差を生ずる。また印加電圧に対する気体増幅度は封入圧により増加の傾斜が異なっている。これらの点は当然計数管の性能を示すプラト幅に関係するものである。またこれも当然のことであるが、封入圧に比例して  $\text{B}^{10}$  の数は増えているから  $\text{B}^{10}(n, \alpha)\text{Li}^7$  の反応数、したがって計数率も増加することが期待される。

本実験では封入圧 10 cmHg～1 気圧の範囲で精製した各種  $\text{BF}_3$  で計数率曲線を求めてみた。第9図～第12図はこの代表例で比較的高純度の  $\text{BF}_3$  を 17, 35, 55, 75 cmHg 封入して求めたものである。各封

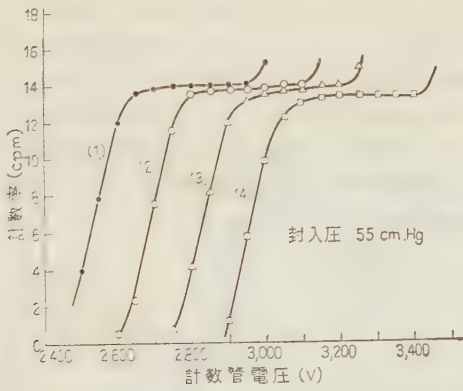


第 9 図 計数率曲線

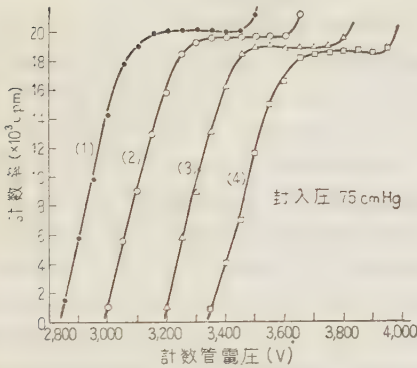


第 10 図 計数率曲線





第 11 図 計数率曲線



第 12 図 計数率曲線

入圧に対し 4 本の曲線 (1) ~ (4) を示しているが、これは増幅器利得 92, 86, 80, 74 dB で測定したものである。

第 2 表 計数率曲線特性表

封入圧 (cmHg)	増幅器利得 ( $\times 10^4$ )	プラト開始 電圧 (V)	プラト計数 率 (cpm) ( $\times 10^3$ )	プラト幅 (V)	プラト率 (%/100 V)
17	4	1,250	4.4	350	0.5
"	2	1,400	"	300	"
"	1	1,510	"	"	1
"	0.5	1,620	"	"	"
35	4	2,040	9.2	250	0.5
"	2	2,200	"	"	"
"	1	2,310	"	"	"
"	0.5	2,400	"	300	1
55	4	2,640	14.0	"	1
"	2	2,800	13.8	"	1.5
"	1	2,950	13.5	270	2
"	0.5	3,080	13.0	300	0
75	4	3,150	20	"	0
"	2	3,300	19.3	"	1
"	1	3,480	18.5	"	1
"	0.5	3,650	13.9	"	"

中性子源 Ra+Be 20 mg ディスクリミネータ 20V, 計数管漂遊容量 500 pF

さて計数率曲線の形についていえば、プラト部は計数管内で行われた  $B^{10}(n, \alpha)Li^7$  反応をすべて計数する領域である。プラト終端の立ち上がりは中性子源 Ra+Be より放出される  $\gamma$  線二次電子パルスの計数によるものである。したがって同一封入圧では増幅器の利得を変化させてもプラト計数率はほぼ一定で、曲線は電圧軸に対し平行移動するにすぎない。やや高封入圧管では増幅器利得低下にしたがい、プラト計数率が少し低下する傾向がみられるが、これはパルスが大きくなり分解時間が長くなったため計数損を生じたものと考えられる。これら曲線群の計数率特性を第 2 表に表示した。

またこれら一連の増幅器利得を変えた実験から各封入圧に対する気体増幅度  $M$  は近似的に

$$\begin{aligned} M &\approx \exp(0.0060 V) && \text{封入圧 } 17 \text{ cmHg} \\ M &\approx \exp(0.0057 V) && \text{封入圧 } 35 \text{ cmHg} \\ M &\approx \exp(0.0050 V) && \text{封入圧 } 55 \text{ cmHg} \\ M &\approx \exp(0.0042 V) && \text{封入圧 } 75 \text{ cmHg} \end{aligned}$$

で表わされる。

また実測例からも明かなように、封入圧を高めるにしたがい計数率は増加しているが、プラト計数率  $n$  は次式で与えられる。

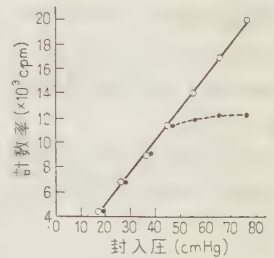
$$n = VNp\epsilon\sigma_B \dots\dots\dots (14)$$

$V$ : 計数管実効容積,  $N$ : Loschmidt 数,  
 $p$ : 封入圧,  $\rho v$ : 中性子束,  $\sigma_B$ : 中性子吸収断面積

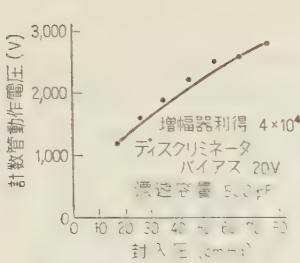
したがって計数率  $n$  と  $p$  は直線関係にあるが、第 13 図の実線は前述の曲線およびその間で求めた計数率曲線より求めたもので、ほぼ直線的に増加していることを示している。なお同図点線については 5 章において述べる。

(4・3) 封入圧と動作電圧 前節曲線群で動作電圧は封入圧とともに高くなっている。

動作電圧は増幅器利得、波高選別器バイアス、その他回路条件で違ってくるものであるが、これらの条件を一定にした場合の封入圧と動作電圧の関係を第 14 図に示す。図中の点が実測値で増幅器利得  $4 \times 10^4$ 、波高選別器バイアス 20 V、漂遊容量 500 pF の条件で求めたものである。



第 13 図 封入圧と計数率の関係



第 14 図 封入圧と動作電圧の関係

次に (8) 式の気体増幅度の関係式から特定の  $M$  を与える封入圧と動作電圧の関係を求める。(12) 式の Townsend 電離係数は中心線表面の  $(E/p)_{\max}$  に対する  $\alpha/p$  の値であって、この値を (8) 式の被積分関数の中に代入することについては若干検討を加えなければならない。すなわち中心線表面で求めた  $\alpha/p$  の値が、空間の同じ  $E/p$  に対する  $\alpha/p$  に等しいかということについては、不平等電界中では一応考察しなければならない問題である。この問題は中心線表面および空間の  $E/p$  が同じ値をとる場合でも、電子の平均自由行程の間の電位差が異なり、したがって平均自由行程の終りで電子の持つエネルギーに差を生じ、電離度に差を生じるのではなからうかということである。いま印加電圧が  $V_1$  のとき、電子が中心線表面の一自由行程  $\lambda$  の間で電界からもらうエネルギー  $\Delta U_1$  と、印加電圧が  $V$  のとき  $r$  点における一自由行程  $\lambda$  で電界からもらうエネルギー  $\Delta U$  を比較すると、(両者の  $E/p$  が等しい場合をくらべているから

$$\frac{V_1}{a \ln \frac{b}{a}} = \frac{V}{r \ln \frac{b}{a}}$$

したがって  $V_1/a = V/r$  が成立している。) 前者では

$$\Delta U_1 = \int_a^{a+\lambda} e \frac{V_1}{r \ln \frac{b}{a}} dr = \frac{eV_1}{\ln \frac{b}{a}} \ln \frac{a+\lambda}{a}$$

また後者では

$$\Delta U = \int_r^{r+\lambda} e \frac{V}{r \ln \frac{b}{a}} dr = \frac{eV}{\ln \frac{b}{a}} \ln \frac{r+\lambda}{r}$$

になる。封入ガス圧が高く  $a$  が  $\lambda$  にくらべて大きい場合には

$$\Delta U_1 = \frac{eV_1}{\ln \frac{b}{a}} \frac{\lambda}{a}$$

および

昭和 35 年 11 月 (J.I.E.E. J.)

上述の動作電圧は特定の計数管パルス波高値を与える電圧であるが、計数管パルス波高値は (13) 式で与えられるから、特定の気体増幅度を与える電圧と解釈することができる。

$$\Delta U = \frac{eV}{\ln \frac{b}{a}} \cdot \frac{\lambda}{r}$$

となり、両者は等しくなる。したがってこのような場合には中心線表面で求めた  $\alpha/p$  の値を空間の同じ  $E/p$  に対する  $\alpha/p$  として適用することができる。筆者の実験では最低封入圧が 17 cmHg, したがって  $\lambda \approx 0.001$  mm で  $a = 0.05$  mm にくらべはるかに小さいから、この条件を満たしている。なお Johnson 氏<sup>(5)</sup> はシリンドラ状不平等電界で中心線表面の  $\alpha/p$  を測定して気体増幅度を求めることを示している。

以上の考察に基づき (12) 式を (8) 式に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} M &= \exp \int_{(E/p)_{\text{crit}}}^{(E/p)_{\max}} 0.0067 \alpha p \left( \frac{E}{p} - 25 \right) \left( \frac{E}{p} \right)^{-2} \\ &\quad \times \left( \frac{E}{p} \right)_{\max} d \left( \frac{E}{p} \right) \\ &= \exp \left[ 0.0067 \alpha p \left\{ \left( \frac{E}{p} \right)_{\max} \ln \frac{E_{\max}}{E_{\text{crit}}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + 25 \left( 1 - \frac{E_{\max}}{E_{\text{crit}}} \right) \right\} \right] \\ &= \exp \left[ 0.0067 \frac{V}{\ln \frac{b}{a}} \ln \frac{V}{V_t} \right. \\ &\quad \left. + 0.167 \alpha p \left( 1 - \frac{V}{V_t} \right) \right] \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

ここで  $V_t$  は電離箱領域から比例計数管領域に移り変わる電圧で、中心線表面が特定の  $(E/p)_{\text{crit}}$  を持つ電圧であるから、

$$V_t = k_1 p \dots \dots \dots (16)$$

と置くことができる。(15) 式および (16) 式から得られる

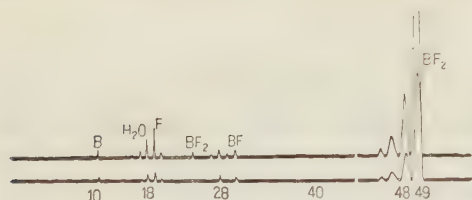
$$\begin{aligned} &0.0067 \frac{V}{\ln \frac{b}{a}} \ln \frac{V}{k_1 p} + 0.167 \alpha p \\ &- \frac{0.167 \alpha V}{k_1} = k_2 \dots \dots \dots (17) \end{aligned}$$

が特定の気体増幅度を与える封入圧と電圧の関係式である。第 14 図の実線が  $k_1 = 23$  V/cmHg,  $k_2 = 9$  V とおいて求めた曲線で傾向は実測値と一致している。なお  $k_1$  は  $\text{BF}_3$  ガスに関する定数,  $k_2$  は測定器の設置条件に関する定数である。

## 5. 不純ガスの影響

(5・1) ガス純度と計数率曲線 前述第 9 図～第 12 図の測定に使った  $\text{BF}_3$  ガスの質量スペクトルを第 15 図に示す。 $\text{BF}_3$  イオンは現われず、質量数 48, 49 の

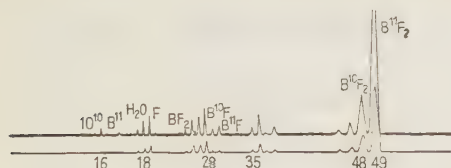


第 15 図  $\text{BF}_3$  ガス質量スペクトル

$\text{BF}_2$  イオンがもっとも多量検知されている。

なおこれの同位元素比  $\text{B}^{10}:\text{B}^{11}$  は 1:4 で妥当な値が得られている。スペクトル中おもな不純物は、 $\text{H}_2\text{O}$ , F,  $\text{N}_2$ ,  $\text{BFOH}$  であるが、このうち  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  は質量分析器のバックグラウンドである。

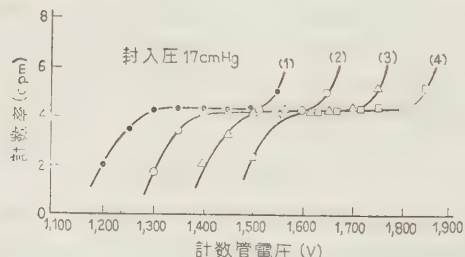
第 15 図より不純物がやや多く混入していると思われる  $\text{BF}_3$  の質量スペクトルを第 16 図に示す。不純物としては質量数 46, 47 の  $\text{BFOH}$ , 26, 27, 28 の

第 16 図  $\text{EF}_3$  ガス質量スペクトル

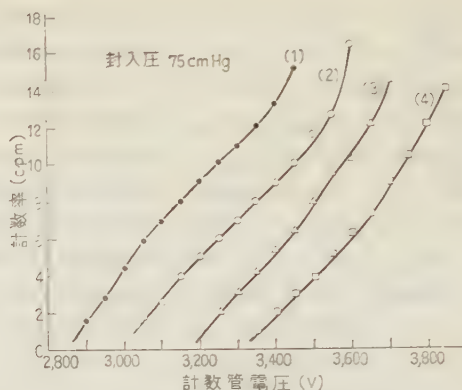
$\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  のエチレン系のガスが検知されている。前述の計数率曲線と比較するため第 16 図の質量スペクトルを示す試料ガスで求めた計数率曲線の 2 例を第 17 図, 第 18 図に示す。曲線 (1)~(4) は (4.2) 節と同じ測定条件, すなわち増幅器利得 92, 86, 80, 74 dB で測定したものである。

第 17 図は封入圧 17 cmHg で求めた曲線であるが, プラト幅 250 V, プラト率 1%/100 V で性能は第 9 図と変わっていないところはない。

第 18 図は封入圧 75 cmHg の計数率曲線で, 動作電圧は第 12 図の動作電圧とはほぼ同じであるが, 計数率の立ち上がりはゆるやかで, かつプラトは完全に消滅している。



第 17 図 計数率曲線



第 18 図 計数率曲線

以上の結果から封入ガスの純度が高封入圧管で特に顕著に計数管性能を左右することが明らかとなったが, これは Segré 氏<sup>(6)</sup>の指摘と同じ傾向を示している。

(5.2) 不純物による特性劣化の原因  $\alpha$  線および  $\text{Li}^{17}$  の電離により作られる電子がすべて中心線の近傍に達し, これらが等しく電子なだれ形成に関与すれば, 放射線エネルギーに比例するパルスが得られる。しかし負イオンを作りやすい不純物が混入している場合, 電子の一部分は中心線の近傍に達する前に負イオンを作り, 残存電子だけが電子なだれに寄与するから残存確率にしたがってパルス波高値に広がりを生じ, 特性劣化の原因となる。

第 16 図の質量スペクトルで目立つ不純物は質量数 26, 27, 28 のエチレン系統のガスおよび 46, 47 の  $\text{BFOH}$  であり, しかも両者は形影相伴なって現われてくることから,  $\text{BF}_3(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$  が負イオン形成の主因と考えられる。

$\text{BF}_3(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$  は容易に (18) 式のごとく解離し, しかも解離成分が強度の電子親和力を持つといわれているから,<sup>(7)</sup> これに電子が付着することは容易に考えられる。なお  $\text{BF}_3 \cdot \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$  は電子衝撃により  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{BFOH}$ ,  $\text{F}_2$  に分かれると考えれば, 質量スペクトルのパタンの現われ方を説明することができる。



..... (18)

なお  $\text{H}_2\text{O}$  の存在により作られる  $\text{BF}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  も負イオンを作りやすい不純物である。<sup>(6)</sup>

(5.3) 負イオン形成による計数損 電子付着が行われる場合, 一次電子が中心線近傍に達するとき, 残存電子数が臨界値  $n_c$  以下になれば計数損を生ずる。第 18 図のプラトの消滅した計数率曲線は計数損を生

じた曲線である。これは第 13 図の封入圧と計数率の関係の点線で示した曲線より明らかである。点線は第 16 図の質量スペクトルを持つ  $\text{BF}_3$  ガスで測定した値であるが、低封入圧では実線と一致し、高封入圧になるにしたがってこれより逸脱して計数率は低下している。なおこの場合の計数率はプラト中央部に相当する電圧を加えたときの値である。

次に計数損と封入圧の関係を検討してみる。電子の熱運動速度  $\bar{c}$ 、平均自由行程を  $\lambda$  とすれば 毎秒衝突回数は  $Z=\bar{c}/\lambda$  である。電子移動度  $k_e$ 、電界強度を  $E$  とすれば、電界方向 1 cm 進むに要する時間は、 $1/k_e E$ 、またこの間に行う衝突回数は  $(\bar{c}/\lambda)(1/k_e E)$  である。

いま電子付着係数を  $h$  とし、中心から  $r_1$  の位置に発生した電子数を  $n_0$ 、 $r$  における残存電子数を  $n_r$  とすれば

$$dn_r = +hn_r(\bar{c}/\lambda)(1/k_e E)dr = +hn_r(\bar{c}/\lambda) \times \left\{ \left( \ln \frac{b}{a} \right) r / k_e V \right\} dr \quad (19)$$

$$\frac{\lambda}{\bar{c}} = \frac{mk_e}{0.75e} \quad (20)$$

から次式が得られる。

$$n_r = n_0 \exp \left\{ - \frac{0.375 eh \left( \ln \frac{b}{a} \right)}{mk_e^2 V} (r_1^2 - r^2) \right\} \quad (21)$$

したがって中心線表面 ( $r=0$ ) における残存電子数は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} n &= n_0 \exp \left\{ - \frac{0.375 eh \left( \ln \frac{b}{a} \right)}{mk_e^2 V} r_1^2 \right\} \\ &= n_0 \exp \left\{ - \frac{0.375 eh \left( \ln \frac{b}{a} \right)}{mk_e^2 V} p^2 r_1^2 \right\} \quad (22) \end{aligned}$$

ただし  $k_0$ : 標準気圧のときの電子移動度

積分は中心より  $r_1$  の位置に  $n_0$  個の電子が作られた場合を考えたが、実際は  $\alpha$  粒子および Li の飛跡に沿って電子が作られており、したがって発生した一次電子の中心線からの距離は各電子により異なるが、この平均値を  $r_1$  と考える。(22)式はこの電子のうち中心線近傍に達する残存電子数で、これが臨界値  $n_c$  に対し  $n \geq n_c$  により計数され、あるいは計数されないこととなる。すなわち(22)式から得られる次式

$$\frac{hp^2 r_1^2}{V} \leq K \quad (23)$$

が計数損の条件で、上号の場合は計数され、下号の場合は計数されない。封入圧  $p$  と動作電圧  $V$  の関係は(17)式で与えられており、これより(23)式は  $p$  のみの関係式に置き換えられるが、一方、第 14 図から近似的に  $p/V = \text{一定}$  と置くことにより(23)式は

$$h' p r_1^2 \leq K \quad (24)$$

となる。

さて封入圧が低い場合  $h' p r_c^2 = K$  になるような  $r_c$  は管径  $b$  より大きく、したがって計数管内で行われる  $\text{B}^{10}(n, \alpha)\text{Li}^7$  反応のパルスはすべて計数されると考えれば、第 17 図の良好な計数率曲線が得られること、および第 13 図の点線で低封入圧部で計数損のないことが説明される。封入圧  $p$  を高めるにしたがい  $r_c$  は小さくなり、ちょうど管径  $b$  に等しくなる状態から計数損が起る。

本ガス試料では封入圧 45 cmHg がこの状態にあるものと考えられる。さらに封入圧  $p$  が高くなり、 $r_c$  が管径  $b$  より小さくなれば  $b-r_c$  領域で行われる反応は計数損され、 $r_c-a$  領域で行われる反応は計数される。

さて管内中性子密度を一樣と考えると  $\text{B}^{10}(n, \alpha)\text{Li}^7$  反応は管内で一樣に行われるから、 $r_c-a$  領域で行われる反応数  $n$ 、すなわち計数される数と全反応数  $n$  との比は

$$\frac{n_1}{n} = \frac{r_c^2}{b^2} \quad (25)$$

で示される。したがって

$$n_1 = n \frac{r_c^2}{b^2} = n \frac{K}{h' b^2 p} \quad (26)$$

を得るが、 $n$  は(14)式により  $p$  に比例するから  $n_1$  は封入圧に関係せず一定である。これは第 13 図点線の 45~75 cmHg 間の計数率の傾向と一致する。なお計数損  $n_2$  は

$$n_2 = n \left( 1 - \frac{K}{h' b^2 p} \right) \quad (27)$$

で表わされる。

## 6. 結 言

以上筆者は Hudswell 氏らの方法で精製した天然  $\text{BF}_3$  ガス封入計数管の放電特性および計数特性の測定と、これに関する検討について述べてきた。本報告は天然  $\text{BF}_3$  ガスについて求めたものであるが、現在濃縮  $\text{B}^{10}\text{F}_3$  比例計数管の試作も終り、これについて



も同じような結果が得られている。

最後に本研究は昭和 30 年度原子力平和利用研究の一環として開始されたものであり、これの開発研究の機会を与えられ、多大の労をとられた当時の関係者の方々、ならびに共同研究者である理化学研究所小林久信氏に厚くお礼申し上げる。また本研究開始以来計数管製作、測定に協力していただいた三橋登氏に謝意を表する。さらに本研究推進のため絶えずご指導、ごべんたつをいただいた本研究所只野、中村、菅原博士、および本研究遂行にいろいろ便宜を取りはからっていただいた今井宗丸氏、川口千夫氏に厚く感謝する。

(昭和 35 年 2 月 6 日受付, 同 7 月 25 日再受付)

## 文 献

- (1) 代表的なものとして,  
I. L. Fowler, et al.: Rev. sci. Instrum. **21**, 134 (1950);  
T. C. Tongiorgi, et al.: Rev. sci. Instrum. **22**, 899 (1951)
- (2) F. Hudswell, et al.: A. E. R. E. C/R 951 (1951)
- (3) T. E. Bortner, et al.: Phys. Rev. **93**, 1236 (1954)
- (4) C. Biber, et al.: Helv. Phys. Acta **28**, 503 (1955)
- (5) G. W. Johnson: Phys. Rev. **73**, 284 (1948)
- (6) E. Segré & C. Wiegand: Rev. sci. Instrum. **18**, 86 (1947)
- (7) H. S. Booth, et al.: Boron Trifluoride and its Derivatives (1953)

## 求 人 ・ 求 職

本欄に掲載を希望される会員は下記申込記載事項を記入し、料金(求人・求職とも 1 件 500 円)を添えて学会事務所宛お申し出下さい。申込締切は毎月 20 日で翌月号に掲載します。

なお「求人」申込に対しては、所轄の公共職業安定所に職業安定法第 35 条但書の規定による「事前通報」を提出し「事前通報処理済書」の交付を受けて添付して下さい。

求人欄申込記載事項 1. 職種(詳細に) 2. 学歴 3. 年令 4. 勤務地 5. 勤務地外に居住する応募者に対する事項 6. 給与 7. 選考地(旅費等支給の有無) 8. 締切年月日 9. 連絡先 10. その他必要事項 11. 会社名

求職欄申込記載事項 1. 氏名(生年月日) 2. 住所 3. 学歴 4. 職歴(詳細に) 5. 希望職種(詳細に) 6. 希望勤務地 7. その他

本欄は紙面を有料で提供するだけで、掲載事項に関する照会・仲介・あっせん等は本会ではいっさい致しませんから求人・求職とも直接御交渉願います。

## 求 人

1. 職種: 技術者(電気, 機械設計) 鉱工業用自動制御, 遠隔制御装置の設計, 2. 学歴: 大学, 高専卒または同等の学力, 経験を有する人, 3. 年令: 25~50 才まで, 4. 勤務地: 下関本社工場, 5. 勤務地外に居住の応募者は書類を本社総務課宛送付すれば連絡する, 6. 給与: 経験, 年令に応じて決定(15,000~50,000 円程度), 7. 選考地: 下関(旅費支給, 昭和 36 年 1 月中旬選考), 8. 締切年月日: 昭和 35 年 12 月 31 日, 9. 連絡先: 株式会社 河野鉱山電機器製作所総務課(下関市彦島本村卯月町 450 番地, 電話 下関 2-4761~2, 8565), 10. その他: 自筆履歴書, 卒業証明書, 成績証明書, 戸籍謄本, 身体検査書, 写真(手札形 1 枚)を提出のこと。

株式会社 河野鉱山電機器製作所

UDC 621.313.223.2.01-9; 621.316.718.5; 621.385.38

# サイラトロン増幅器による直流他励電動機 の速度制御\*

資料・論文

35-110

正 員 石 崎 長 光†

## 1. 緒 言

サイラトロンのような格子制御放電管による直流電動機速度制御は現在広く普及している。サイラトロンで直流他励電動機速度制御をする場合に、従来一般に使用されている制御方式では電動機の電機子へ供給される制御回路の出力電圧は、電動機速度および負荷電流によって大きく変動する欠点がある。

そこで筆者は他励電動機速度制御のために、普通のサイラトロン制御回路にフェノトロンを付加したサイラトロン増幅器<sup>(1)</sup>を使用してこの欠点を取り除き、電圧変動を少なくすることができた。電機子への電源としてサイラトロン増幅器の出力を使用し、かつ電機子に直列にリアクトルをそう入してフェノトロン効果を強める場合には、電動機無負荷運転より過負荷運転まで増幅器の出力電圧はほとんど一定であって、電動機速度および負荷電流に影響されない。したがって直流電動機をサイラトロン増幅器で運転する場合には、電機子に加えらる増幅器の出力電圧はサイラトロンの点弧角のみで決定されるから、電動機の制御特性は普通の制御回路を使用した場合と異なる。

本文ではサイラトロン増幅器によって運転される直流他励電動機の電圧、電流および速度、サイラトロンの点弧角などの関係を説明し、さらにサイラトロン増幅器によって電動機の追従制御を行った結果を報告して、いわゆる静止ワードレオナード方式を使用される場合の参考に供したいと思う。

## 2. サイラトロン増幅器による直流 他励電動機の運転特性

直流他励電動機を一定励磁で運転する場合に、電機子に誘起される逆起電力  $E_c$  は、電動機回転数  $N$  に比例する。比例定数を  $C_1$  とすれば

$$E_c = C_1 N \dots\dots\dots (1)$$

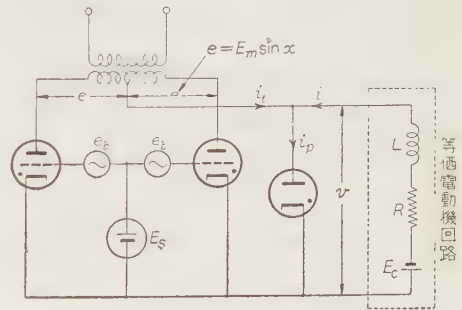
となる。したがって他励電動機の等価回路は回転数を表わす電池  $E_c$  と電機子回路の抵抗  $R$  およびインダクタンス  $L$  の直列回路として示すことができる。

(2.1) サイラトロン増幅器-電動機回路 サイラトロン増幅器については文献(1)にゆずり、ここではサイラトロン増幅器-電動機回路について簡単に説明する。第1図はこの回路を示す。サイラトロン2個を単相両波整流回路に接続し、さらに電動機の端子間にフェノトロンを図のように接続する。電動機は  $L$ - $R$ - $E_c$  なる等価回路で示した。

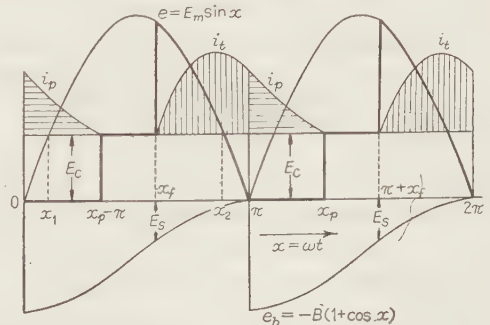
サイラトロンの陽極交流電源電圧を  $e = E_m \sin x$ ,  $x = \omega t$  とし、サイラトロンの格子回路には特定バイアスとして

$$e_b = -B(1 + \cos x) \dots\dots\dots (2)$$

を加え、さらに電動機制御用の信号電圧として  $E_s$  を



第 1 図 サイラトロン増幅器-電動機回路



第 2 図 電圧、電流波形

\* Speed Control of DC Separately Excited Motor by Thyatron Amplifier. By T. ISHIZAKI, Member (College of Engineering, University of Osaka Prefecture).

† 大阪府立大学工学部電気工学教室助教授、電気応用担当



重ね合わせて加える。サイラトロンの臨界格子電圧を無視すれば、両者の和が零になったときにサイラトロンは点弧するから、サイラトロンの点弧角  $x_f$  は

$$E_s = B(1 + \cos x_f) \dots\dots\dots (3)$$

より求めることができる。

(2・2) 電流、電圧波形 第2図はサイラトロン増幅器で運転される電動機の電流および電圧波形を示す。図を簡単にするために放電管の管内電圧降下、転流期間およびサイラトロンの臨界格子電圧を無視する。サイラトロンは陽極電圧が正なときにだけ点弧できるから、 $e$  が  $E_c$  と等しくなるときの電角を  $x_1$ 、 $x_2$  とすれば  $x_1 \leq x_f \leq x_2$  となる。

第2図でサイラトロン電流  $i_t$  は  $x_f$  で流れ始め、サイラトロンの陽極交流電圧が負になればファノトロンが点弧し、サイラトロンは消弧するから、電動機にはファノトロン電流  $i_p$  が流れる。すなわちサイラトロンの放電によって電源から電動機回路に供給されたエネルギーの一部はインダクタンス中にたくわえられ、サイラトロンの消弧後にファノトロンの放電によって電動機で消費される。

電動機の端子電圧は、サイラトロンの放電期間は陽極交流電圧に沿って変化し、ファノトロンの放電中は短絡されて零となり、次の放電休止期間は電動機の逆起電力に等しくなる。その電圧変化の模様を第2図の太線で示す。

(2・3) ファノトロンの消弧角  $x_p$  定常状態における  $i_t$  と  $i_p$  はそれぞれ次式で与えられる。

$$i_t = \frac{E_m}{R} \left[ \{ \cos \theta \sin(x - \theta) - a \} \varepsilon^{-\frac{x - x_f}{\tan \theta}} - \{ \cos \theta \sin(x_f - \theta) - a \} \varepsilon^{-\frac{x - x_f}{\tan \theta}} \right] \quad (4)$$

ただし、 $x_f \leq x \leq \pi$

$$i_p = -\frac{E_m}{R} a \left( 1 - \varepsilon^{-\frac{x - x_p}{\tan \theta}} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $\pi \leq x \leq x_p$

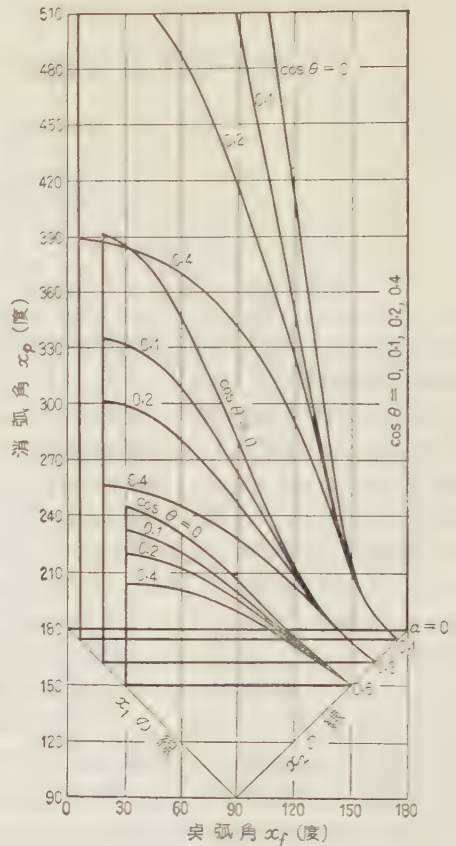
$$\text{かつ、} \theta = \tan^{-1} \frac{X}{R}, \quad X = \omega L, \quad a = \frac{C_1}{E_m} N$$

ここで、 $a$  は電動機 の速度を表わすから速度係数と呼ぶことにする。

$x = \pi$  のとき  $i_t = i_p$  であるから

$$x_p = \pi + \tan \theta \log \frac{1}{a} \left[ \cos \theta \sin \theta - \{ \cos \theta \sin(x_f - \theta) - a \} \varepsilon^{-\frac{\pi - x_f}{\tan \theta}} \right] \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。第3図は速度係数  $a$  および電動機回路の力率  $\cos \theta$  をパラメータとして、上式より  $x_p$  と  $x_f$  との



第3図 消弧角対点弧角曲線

関係を求めたものである。図の  $x_1$  および  $x_2$  の線は  $x_f$  の限界値である。

(2・4) 電流係数  $i_F$  と電圧係数  $v_F$  陽極交流電圧の半波における電動機電流の平均値  $I$  は (4)、(5)、(6) 式より求められる。

$$I = \frac{E_m}{\pi R} \{ 1 + \cos x_f - a(x_p - x_f) \} \quad \dots\dots\dots (7)$$

電動機の端子電圧  $V$  は電動機の逆起電力と抵抗による電圧降下との和であるから

$$V = E_c + IR = E_m \{ (1 + \cos x_f) + a(\pi + x_f - x_p) \} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。またこの値は第2図の太線で示した電動機の端子電圧波形の半サイクルにおける平均値としても計算できる。

ここで電動機電流および電圧を無次元化するために

$$i_F = IR/E_m, \quad v_F = V/E_m$$

なる係数を用いて、 $i_F$  を電流係数、 $v_F$  を電圧係数と呼ぶことにする。

電動機の電流が断続して流れる場合は (8) 式より

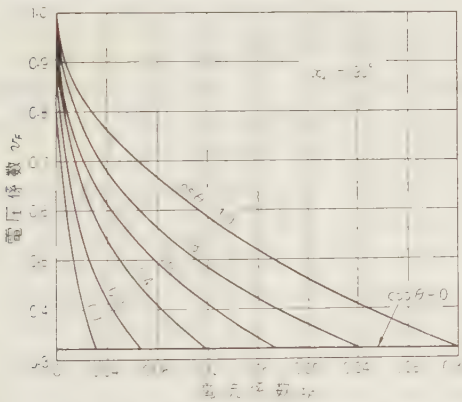
$$v_F = a + v_F = \{ (1 + \cos x_F) + a(\pi + x_F - x_v) \} / \pi \quad \dots\dots\dots (9)$$

となり、電流が連続して流れる場合は  $x_v = \pi + x_F$  であるから

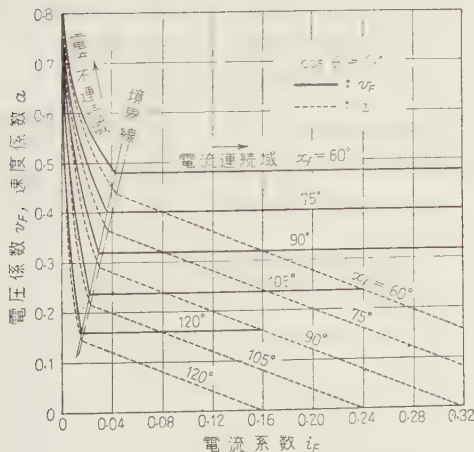
$$v_F = (1 + \cos x_F) / \pi \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。したがって (3), (10) 式よりサイラトロン増幅器で運転される直流他励電動機の端子電圧はサイラトロンの格子に加えられた信号電圧に比例し、電動機速度には無関係であることがわかる。

(2・5) 特性曲線 サイラトロン増幅器で運転される他励電動機の特性曲線は (9), (10) 式を用いて求めることができる。第4図は  $x_F = 90^\circ$  とした場合に、 $\cos \theta$  をパラメータとして描いた電圧係数対電流係数特性である。図で  $\cos \theta = 0$  の場合は電流は常に連続して流れるから、電圧係数は一定値となる。また力率が小なるほど電流は連続して流れやすくなるから、電圧係数は早く  $\cos \theta = 0$  の線に落ち着くことになる。



第4図 電圧係数対電流係数特性

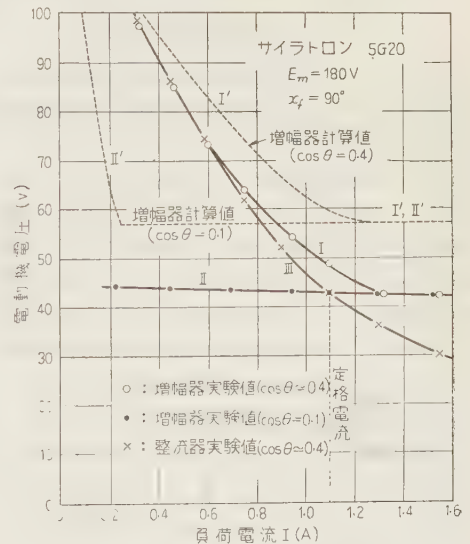


第5図 電圧、速度計数対電流係数特性

一般に小形電動機の電機子回路の力率は 0.3~0.6 程度であるが、サイラトロン増幅器でファノトロン効果を増大させるため、電機子に直列にリアクトルを接続して、回路の力率を 0.1 として計算をすすめる。

第5図は  $\cos \theta = 0.1$  とし、点弧角を  $60 \sim 120^\circ$  の種々の一定値に保って他励電動機を運転した場合の特性曲線を示す。実線は電圧係数対電流係数特性で、点線は速度係数対電流係数特性である。

(2・6) 実験結果 電源交流電圧およびサイラトロンの点弧角を一定として、サイラトロン 5G20 で小形電動機 (50 W, 2,500 rpm) を運転した場合の電圧対電流特性曲線の一例を示すと第6図のようになる。図で曲線 I はリアクトルを接続しない場合で、電動機の電機子回路の力率は約 0.4 であったのでファノトロン効果を充分発揮することができず、電動機の端子電圧は電流が定格値をこえなければ安定しない。



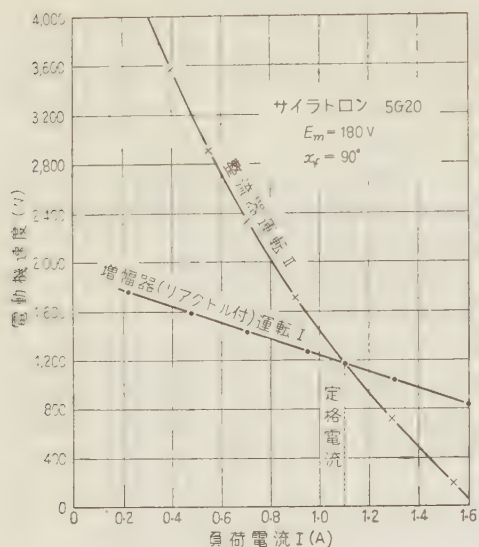
第6図 電圧対電流特性曲線

ファノトロン効果を強めるために、電機子に直列にリアクトルを接続して回路の力率を 0.1 とした場合の電圧特性を曲線 II で示す。すなわち電動機の無負荷運転より過負荷運転まで電圧はほとんど一定である。

なお、電機子回路の力率が 0.4, 0.1 の場合における電動機電圧の計算値は曲線 I', II' で示した。計算値と実験値との誤差は、前述の計算で無視した放電管の管内電圧降下によるものと考えられる。

曲線 III はファノトロンを用いない従来一般に使用されているサイラトロン制御回路 (以下単に整流器と呼ぶことにする) によって運転される他励電動機<sup>(2)</sup>の電圧特性を示す。すなわちサイラトロンの点弧角を  $90^\circ$



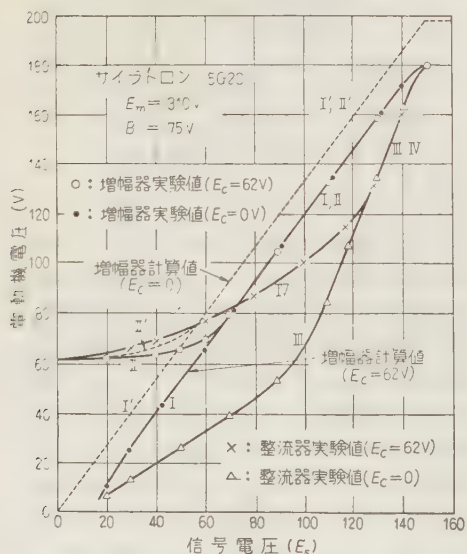


第 7 図 速度対電流特性曲線

とした場合に、整流器によって運転される電動機の電流は常に断続して流れ、電動機の端子電圧は負荷の増加に伴って著しく降下する。

第 7 図は電動機速度対電流特性曲線を示す。増幅器（リアクトル付， $\cos \theta = 0.1$ ）運転の場合は図の曲線 I で示すように速度変動の少ない分巻特性であるが、整流器運転の場合には曲線 II で示すような速度変動の大きい直巻特性となっている。

第 8 図はサイラトロン 5G20 および電動機逆起電力として電池を使用した場合の電動機電圧対信号電圧曲



第 8 図 電動機電圧対信号電圧曲線

線を示す。図において曲線 I，II は増幅器（リアクトル付， $\cos \theta = 0.1$ ）を使用し， $E_c$  が 0 V と 62 V の場合の実験値で，曲線 I，II の共通の直線部分で示されるように増幅器の出力電圧は信号電圧に比例し，電動機速度を表わす  $E_c$  には無関係である。

なお  $E_c$  が 0 V と 62 V の場合の計算値を示すと曲線 I'，II' のようになる。実験値と計算値との誤差は計算で無視した放電管の管内電圧降下によるものである。

整流器を使用した場合の実験値は曲線 III，IV で示すように  $E_c$  の値，すなわち電動機速度によって電圧は著しく異なる。

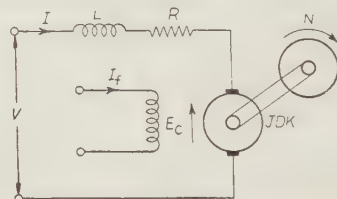
(2.7) ファノトロン効果 サイラトロン増幅器におけるファノトロン効果を調べるために，増幅器による直流他励電動機の運転特性とファノトロンを使用しない整流器で運転される電動機特性を比較してみると，整流器においては電流が断続して流れるのは特別の場合であって，普通は電流は断続して流れるものである。したがって整流器で運転される電動機の電圧は電動機速度および負荷電流によって著しく変化する。一方増幅器の場合はリアクトルでファノトロン効果を強化すれば，電動機電流は連続して流れることが普通で，断続することはごく特別の場合である。

増幅器で運転される電動機の電圧は，電動機速度および負荷電流によって変化することなく，サイラトロンの点弧角のみによって決定される。このためサイラトロンで直流他励電動機を運転する場合は，整流器を使用すれば直巻特性となるが，増幅器を用いれば同一電動機でも分巻特性となり，電動機速度の定値制御が容易になる。また増幅器はサイラトロンの格子に加えられる信号電圧を直線的に増幅することができるから，電動機速度を信号電圧に追従させることができる。

### 3. 超低周波信号による直流他励電動機の追従制御

(3.1) 基本的関係式 第 9 図の電動機-負荷回路で励磁電流を一定とすれば，他励電動機のトルク  $\tau$  は

$$\tau = C_2 I = p J N + D N + K \quad \dots\dots\dots (11)$$



第 9 図 電動機-負荷回路

ただし,  $p=d/dt$ ,  $C_2$ : 定数,  $J$ : 電動機および負荷の合成慣性モーメント,  $D$ : 電動機および負荷の合成粘性摩擦係数,  $K$ : 電動機および負荷の合成静止摩擦

となるが,  $E_c=C_1N$  を用いて上式を書きかえると

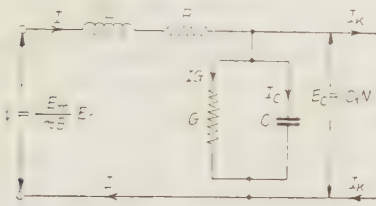
$$I = pCE_c + GE_c + KC_c \quad (12)$$

ただし,

$$C = J/C_1C_2, \quad G = D/C_1C_2, \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$I_c = pCE_c, \quad I_g = GE_c, \quad I_k = KC_c, \dots \dots \dots (14)$$

となって電動機および負荷の等価回路は第 10 図で示



第 10 図 電動機および負荷の等価回路

すことができる。図よりサイラトロン増幅器-電動機方式における速度対信号の伝達関数  $G(p)$  を計算すると

$$G(p) = \frac{\Delta N}{\Delta E_s} = \frac{E_m}{C_1\pi B} \frac{JE_c}{JV} \\ = E_m \{ C_1\pi B(A_0p^2 + A_1p + A_2) \} \quad \dots \dots \dots (15)$$

ただし,

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= CL, \quad A_1 = CR + GL \\ A_2 &= 1 + GR \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (16)$$

となる。整流器による電動機制御方式の伝達関数<sup>(3)</sup>が非常に複雑な形となるのに対して, サイラトロン増幅器の場合は上式で示されるように簡単な形となる。

サイラトロン格子への信号電圧として, 次式のような超低周波の正弦波を加えると

$$E_s = E_{SD} + E_{SA} \sin \alpha t \quad \dots \dots \dots (17)$$

電動機速度は信号電圧に追従して

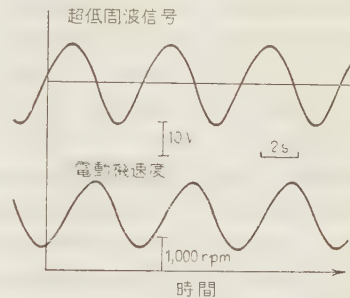
$$N = N_D + N_A \sin(\alpha t - \phi_n) \quad \dots \dots \dots (18)$$

ただし,  $E_{SD} > E_{SA}$ ,  $N_D > N_A$

$$\left. \begin{aligned} N_A &= E_m E_{SA} / \{ BC_1\pi V \sqrt{(A_2 - \alpha^2 A_0)^2 + (\alpha A_1)^2} \} \\ \phi_n &= \tan^{-1} \{ \alpha A_1 / (A_2 - \alpha^2 A_0) \} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (19)$$

となる。 $\alpha \ll \omega$  ならばサイラトロン増幅器の出力電圧は入力信号に直線的に比例するから, この入力信号に追従する電動機速度が得られる。

(3.2) 実験結果 サイラトロン 5G20 を用いた第 1 図のような単相両波整流形増幅器で小形電動機 (50 W, 2,500 rpm) を運転した場合のペン書きオシログラムによる波形を示せば, 第 11 図のようになる。上の波形は信号電圧の超低周波分  $E_{SA} \sin \alpha t$  を, 下の波形はこの超低周波信号に追従する電動機速度  $N$  を示す。



第 11 図 超低周波信号と電動機速度のオシログラム

## 4. 結 言

以上, 直流他励電動機速度制御用として単相両波整流形のサイラトロン増幅器を使用した場合の特性計算式を導き, 計算および実験例を示した。なおサイラトロン 1 個を用いた単相半波整流形のサイラトロン増幅器で他励電動機を運転する場合においても, リアクトルでファノトン効果を強化すれば両波整流形の場合と同様に, 電動機電流は連続して流れて電動機の端子電圧はサイラトロン点弧角で決まる一定値となるから, 電動機の制御特性は普通のサイラトロン制御回路を利用する場合に比較して著しく改善できる。

終りに, 本研究に種々ご指導ごべんたつをいただいた大阪大学山口次郎教授に厚くお礼を申し上げる。

(昭和 35 年 2 月 8 日受付, 同 7 月 25 日再受付)

## 文 献

- (1) 宮越・畑・児島: 電学誌 **75**, 732 (昭30)
- (2) K. P. Fuchlowski: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs. **64**, 255 (1945)
- (3) W. Steiger: Regelungstechnik, **5**, Heft 2, 45 (1957)



UDC 621.315.051.052.332: 621.3.064.2: 621.3.015.38

## 非接地系電源端における線路充電電流しゃ断

## 現象と開閉異常電圧\*

正員 鬼 頭 幸 生†

資料・論文

35-111

## 1. 緒 言

平常運転時の系統操作において無負荷線路のしゃ断はひん繁に行われるが、かような進み小電流のしゃ断時には再発(点)弧をしばしば伴って、いわゆる開閉異常電圧の原因となる。その異常電圧倍数については従来多くの研究がなされてきた。しかし最近になって避雷器にある程度の開閉異常電圧を処理させたり、機器絶縁ならびに汚損がいしなどの開閉異常電圧に対する絶縁耐力などの問題に対しては、波形も同時に考慮することが必要になってきた。他方開閉現象に関する理論的解析は単相回路からの類推を出ないものが多い、直接3相回路を解析した例は少ない。

筆者は過去数年にわたって行った各種しゃ断器の充電電流しゃ断試験の結果に詳細な検討を加えて、実系統におけるしゃ断状況ならびに再発(点)弧現象を多少なりともはあくすることができた。またその一部については3相回路として定量的解析も行ったので、これらをあわせて報告する。本報告においては中性点非接地の電源変圧器引出口において線路充電電流をしゃ断する場合について述べる。このようにしゃ断器電源側に線路のような大きい静電容量が存在しない回路構成を以下簡単にB回路と称する。<sup>(1)</sup> 線路中間における開閉のような回路構成をA回路と称して区別しているが、しゃ断器電源側の線路静電容量が大なるため、中性点電位が比較的安定で異常電圧的に問題が少ないのに反し、非接地系B回路では再発(点)弧などによる電源側対地電位の変動が激しく問題が多い。

調査対象としたしゃ断試験は主として中部電力管内の30 kV ケーブル系統、および70 kV 架空線系統で行われたもので、電流値は3~37 Aにわたり、しゃ断器には自力消弧形しゃ断器として油入形(消弧室付)、がいし形、他力消弧形しゃ断器として空気吹付形(以下ABBと略記する)が用いられた。なお電圧の測定は

CR 直列または並列分圧器により、電流の測定は CT を介して電磁偏向により、それぞれ回転ドラム形ブラウン管オシログラフを使用した。<sup>(2)</sup>

## 2. 実 験 結 果

(2.1) しゃ断シーケンスの分類およびその発生状況 B回路構成における充電電流しゃ断シーケンスは、大別すると四つの形に分類される。

まず定常充電電流の3相しゃ断成立までの過程を無再発(点)弧で逐次しゃ断完了する場合と、すでに先にしゃ断成立した相が発弧して改めて3相しゃ断にいたる場合とに分け、前者をI形、後者をII形とする。そのそれぞれについてさらに3相しゃ断完了後に発弧を起さない場合と、発弧様式は何であれ1回以上発弧する場合とに分け、I-a形、I-b形、あるいはII-a形、II-b形と称する。ただし「発弧」という言葉はいわゆる再発弧、再点弧の区別をせずに、両者を含めて簡単に表わしたもので、以下同様に用いる。

第1表 しゃ断シーケンス別発生度数(非接地系)

変電所名	しゃ断器種類	しゃ断シーケンス				計	
		I-a形 (%)	I-b形 (%)	II-a形 (%)	II-b形 (%)	(%)	(件)
水主町	A	0	100	0	0	100	5
	B	0	30	0	70	100	1
	C	50	0	50	0	100	1
	D	0	0	60	40	100	1
鳥森	No. 4	70	25	5	0	100	20
	No. 5	0	57	0	43	100	21

以上四つの形に基づいて実験した供試しゃ断器のしゃ断シーケンスを整理した結果の一例が第1表である。この四つの形の発生ひん度は個々のしゃ断器の性能とか電圧、電流の高調波含有率とかによって異なっている。

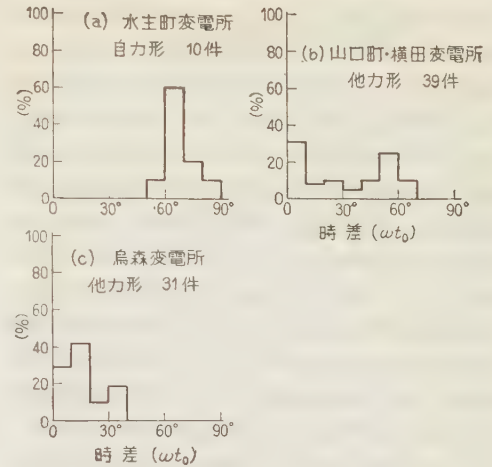
本報ではひとまずもっとも基本的なI形を主体とし

\* Phenomena in Interrupting the Line Charging Current at Isolated Neutral Transformer Terminals and its Overvoltages. By Y. KITO, Member (Faculty of Engineering, Nagoya University).

† 名古屋大学工学部電気工学教室助手

て検討をすすめる。

(2・2) **I 形の 3 相しゃ断成立時期** 基本波充電電流からの第 1 相しゃ断成立は、対地電圧波高値の位置すなわち時間の原点を第 1 相対地電圧の零点にとれば  $90^\circ$  (または  $270^\circ$ ) だが、極性を反転すれば事情は同じであるから以下区分しない) であると一般にいわれているが、実際にはしゃ断器種類と電流波形とによって影響を受ける。電流波形が正弦波に近い場合には、自力消弧形しゃ断器では  $90^\circ$  付近でもっとも多くしゃ断されており、定常充電電流の零通過点は確実にしゃ断の契機となっていることを示している。他力消弧形 (本報ではすべて ABB) では  $60^\circ \sim 90^\circ$  にかけてしゃ断されるものが幾分あり、強制消弧が行われる。しかし全体を通じて  $90^\circ$  以後のものは非常に少ない。<sup>(3)</sup> これに対し玉川変電所のように第五調波による零通過点が基本波の 1 サイクル中に 8 回存在する場合には、これらの点を中心としてしゃ断成立している。このことからあらゆる電流零通過点は確実にしゃ断への契機となることがわかる。他力消弧形しゃ断器では 3 相同時しゃ断される場合でも、いずれか 1 相は必ず  $90^\circ$  付近にある。次に第 2, 3 相は非接地系では必ず同時しゃ断される。そのしゃ断成立時期は第 1 相とある時差を有するのが普通である。I 形のしゃ断シーケンスをとったものについて、この時差の分布を集計した例を第 1 図に示す。この 3 例は電流の波形ひずみの少ない場合である。水主町変電所自力消弧形しゃ断器では  $60^\circ \sim 70^\circ$  程度にまとまっているが、他力消弧形しゃ断器では一般に時差が短くなる。山口町、横田変電所では  $50^\circ \sim 60^\circ$  のものが全体の 1/4 ほど残っているが、鳥森変電所ではすべて  $40^\circ$  以内にはいり、前者は後者への中間的傾向を示している。このことから、普通充電電流しゃ断のモデルとされている  $90^\circ$  遅れて第 2, 3 相がしゃ断成



第 1 図 第 1 相しゃ断成立後第 2, 3 相しゃ断成立までの時差 ( $\omega t_0$ ) の分布

立するという例はほとんどなかった。

なおこのしゃ断成立時期の問題に関連してしゃ断後の線路残留電圧が決ってくるが、結論的に第 1 相は約  $1E$ , ( $E$ : 相電圧波高値, 以下同じ) 第 2, 3 相は見掛け上約  $-0.5E$  を中心として正負方向に対称の値が残留する。第 1 相との時差が大なる場合には、第 1 相に対して進み相のほうが負側の値をとる。ある 1 相の位相角が  $90^\circ$  より幾分前に 3 相同時しゃ断した場合には入れ換えることがある。

(2・3) **発弧にいたる過程** 定常充電電流がいったん 3 相しゃ断成立したのち引き続いて発弧する場合について、最初に極間絶縁破壊した相を調査した結果が第 2 表最左欄 (1) である。しゃ断シーケンス別に集計したものとその合計とにわけである。この表より遅れてしゃ断される 2 相の極間が最初に破壊されやすいことがわかる。この傾向は I-b 形、II-b 形に共通で他

第 2 表 発弧にいたる過程に関する調査 (非接地系)

しゃ断の種類	変電所名	しゃ断形式	(1) 最初にしゃ断された相				(2) 発弧後最初の相			(3) 発弧様式別集計			(4) 2 相のしゃ断となった組み合わせ		
			第 1 相	第 2 相	第 3 相	不明	3 相同時	2 相同時	単相	3 相同時	2 相同時	単相	第 1 相遅れ相	第 1 相進み相	遅れ相進み相
自力消弧形	水主町	I-b 形	2 件	1 件	2 件	1 件	4 件	9 件	2 件	6 件	5 件	5 件	0 件	6 件	0 件
		II-b 形	2	1	2	1	2	4	0	4	12	0	0	2	2
		計	4	2	4	2	6	4	2	10	17	5	0	2	2
			33%	17%	33%	17%	50%	33%	17%	31.5%	53%	15.5%	0%	50%	50%
他力消弧形	鳥森	I-b 形	1 件	10 件	2 件	4 件	10 件	7 件	0 件	18 件	14 件	1 件	2 件	0 件	5 件
		II-b 形	0	4	4	1	5	4	0	12	9	0	0	0	4
		計	1	14	6	5	15	11	0	30	23	1	2	0	9
			4%	54%	23%	19%	58%	42%	0%	55.5%	42.5%	2%	18%	0%	82%

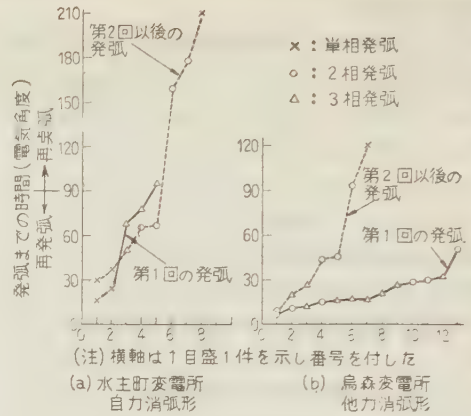
(注) 第 1 相: 直前のしゃ断成立第 1 相を示す。ただし 3 相同時しゃ断の場合には対地電圧位相角が  $90^\circ$  に近い相を第 1 相にとってある。  
遅れ(進み)相: 上記に対する遅れ(進み)相を示す。



力消弧形に特に顕著である。しゃ断成立第1相の極間絶縁が最初に破壊する割合は自力消弧形しゃ断器のほうが大であった。発弧の契機というものは、ある1相によってひきおこされるのであるが、そのままですむものと、これに誘発されて2相あるいは3相ともに極間絶縁が破壊されるものがある。結果的にはこれらを単相発弧、2相発弧、3相発弧と呼ぶ。そのような誘発をうけた相数を調査したものが第2表の中央の2欄(2)、(3)である。(3)欄は発弧の起きた時期に無関係に3種の発弧様式が全体としていかなる割合で起っているかを集計した結果である。この表によると非接地系では2,3相発弧が多く発生し、これは開極後最初の発弧についてもまた発弧の総件数についてもいいうる。(3)欄の数値を(2)欄の数値と比較してみると、一度発弧を経た後は、比較的2相発弧の様式が多いことがわかる。最初の1相の極間絶縁破壊により電源側対地電圧が急変するが、その結果他の2相の極間電圧も急変し、それがそのときの極間絶縁耐力を上回る場合には他相に発弧が誘発される。どちらの相が影響をうけやすいかを調べるには、2相発弧となった組み合わせを調べるのがよい。その結果が第2表の最右欄(4)に示してある。ここにおいても、誘発をうけて極間が絶縁破壊される組み合わせは、遅れてしゃ断された2相であることが多い。

このような発弧が3相しゃ断成立後どれほど経って発生したかを調査した結果が第2図である。これはI-b形のしゃ断をしたものについての調査であるが、「発弧までの時間」は発弧の契機となる極間破壊を起した相について電気角度で示す。発弧までの時間が短いものから順に右方に向けて列してある。慣例にしたがってこの時間が90°より長いものを再点弧、短いものを再発弧と記した。

発弧位置を示す印を3種に分けて誘発をうけた相数も示した。他力消弧形しゃ断器にあっては、図にあげた例にかぎらずほとんどすべて50°以内の発弧しか起きていない。まれに90°以上経過したのち再点弧するものがあったが、そのような例と他の大部分とは発弧までの時間に大きな隔りがある。これに反し自力消弧形しゃ断器ではおよそあ



第2図 発弧を起すまでの時間

らゆる時期にわたって発弧が起っている。次いで上の調査をしたものの中で、発弧を2回以上くり返したものについてその発弧までの時間を調べた。水主町変電所では再点弧領域のものが増え、烏森変電所でも30°以上経るものから再点弧領域のものが現われている。また3相発弧の占める割合が低くなったこと、再点弧領域にまで単相発弧の現われたことが特徴であるが、特に後者は後に述べるように異常電圧の観点からは好ましくない。

(2・4) 発弧後の状況 発弧状態にはいつからその状態がどれだけ継続したかについて、相別に発弧にいたるまでの時間と発弧の継続時間との関係を調べた。しゃ断器の種類別の調査によると、いずれにも共通の性格があることがわかったので、第2表以外の他の変電所における試験も合わせて、おのおのの試験における発弧総数を100に換算して不ぞろいを調整したのち総合したのが、第3表である。発弧するとほとんど

第3表 発弧の継続時間(非接地系)

発弧までの時間	発弧の継続時間(自由振動のサイクル数)					
	(瞬時発弧)* (%)	0.5 サイクル (%)	1 サイクル (%)	1.5 サイクル (%)	2 サイクル (%)	2.5 サイクル以上 (%)
0~30°	6.4	25.2	2.1	1.1	0.6	5.9
31~60°	3.6	21.1	1.6	3.3	1.7	0.3
61~90°		1.1	1.0	1.1	3.2	4.1
91~120°	0.1	4.4		0.1	1.1	0.3
121~150°		2.4		0.6	0.8	2.2
151~180°		2.2			0.8	0.3
181~210°	(C 領域)			(B 領域)		
211~240°	0.3					
241°以上						

(注) 発弧の総件数(実際の件数): 264 件

\* 第16図参照

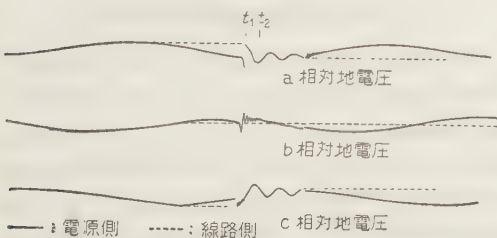
必ず自由振動の形をとるので、そのサイクル数を単位にとって示した。この表は太線で仕切った3領域A, B, Cに分けて特徴づけられる。大部分の発弧がA領域に属している。継続時間0.5サイクルのものは相当な数にのぼるが、ほとんど発弧までの時間が $60^\circ$ 以内にある。発弧までの時間が長くなると継続時間の長いものが現われる。継続時間が長いといってもB領域に属するものはほとんどない。ただ他力消弧形は比較的本表の左半に属する傾向は認められる。異常電圧的にもっとも問題視されるのはC領域に属するもので、約10%がここに属する。この領域に属するものをもう少し詳しく検討すると、 $211\sim 240^\circ$  経て瞬時発弧した場合には電源側対地電圧の大幅なシフトをもたらす。いわゆる累積異常電圧が発生するためには、この範囲に属する継続時間0.5サイクルの発弧が2回以上続けて発生しなければならないわけで、それはきわめてまれであることが推定される。この調査範囲内では2件あった。

発弧状態にはいると、自由振動をするのが普通であり、その自由振動周波数の推定はかなりよい近似で得られるが、その減衰は回路の損失に関連し定量的な推定は困難である。そこで実系統試験および集中静電容量の模擬線路による実回路固有周波数測定試験の中から形態の整った自由振動を選び、減衰時定数 $\tau$ と振動周波数 $f$ との関係を実験的に求めた。平均値を示す実験式は次のとおりである。

$$\tau = 1,120/f^{0.9} \text{ (ms)} \dots\dots\dots (1)$$

この数値を短絡しゃ断試験より得られている従来の値と比較すると、再起電圧の減衰よりもやや少なく、振幅率としては大きいことがわかった。<sup>(4)</sup>

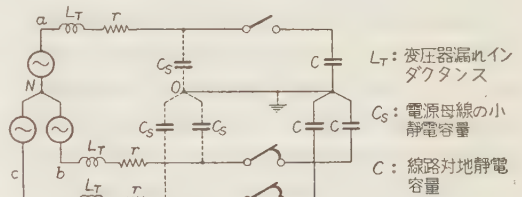
発弧を起した場合の一例を第3図に示す。これは典型的なa, c相2相発弧である。最初c相の極間絶縁が破壊されて、a, b相に跳躍が起っている。その立ち上がり途中でa相極間が破壊されて2相発弧にはいつている。



第3図 2相発弧例

### 3. 発弧現象の検討

第1相のしゃ断成立位相角は比較的 $90^\circ$ 付近に集中しており、早期しゃ断されるものでも $10\sim 20^\circ$ 程度早くなるにすぎないが、第2, 3相のしゃ断成立は第1相に遅れること $0\sim 90^\circ$ の範囲に不規則に分布している。水主町変電所にて試験した自力消弧形しゃ断器は1953年代のもので性能は今日の最新形ほど進歩していないと思われるが、それでも時差 $60\sim 70^\circ$ で $20^\circ$ 以上早目にしゃ断している。このことは非接地系において第1相しゃ断後に残る2相は一つの単相回路となり、そこに2点しゃ断が適用される形になるのが一つの原因と思われる。他力消弧形しゃ断器ではこの傾向が一層よく現われて、3相同時しゃ断もしばしば行われる。この場合には、ほとんど必ず充電電流の強制消弧もしくはさい断が伴っている。B回路のしゃ断時の状態は第4図のように表わされる。

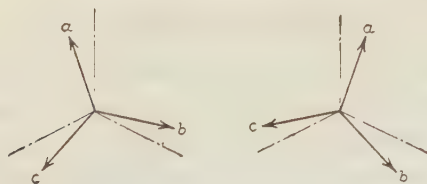


第4図 非接地系B回路のしゃ断回路

いずれにしろ結論的にB回路で基本波充電電流がしゃ断される過程では、各相回復電圧に顕著な高周波自由振動は発生せず基本波だけを考慮すればよい。3相しゃ断後電源側に残る静電容量 $C_S$ は無視できない。理論的にはしゃ断点を線路始点にもってきた極限の仮想的静電容量であるが、実際の回路においては母線にわずかではあるが必ず静電容量が残存し、後述のように1相の極間絶縁破壊に伴う電源電位の振動性跳躍、瞬時発弧による中性点電位の持続的シフトなどに決定的役割をはたす。したがって定常充電電流しゃ断後の対地電位のシフトもこれによって決まってくる。これらの事実に基づいて線路側残留電圧を求める。以下本報の計算においては相を相順にa, b, cとして添字に小文字で付す。しゃ断成立第1相をa相と規約し、そのときの相電圧位相角 $\theta_a' = 90^\circ$ であるとする。そのしゃ断後 $t_0$ (s)でb, c相がしゃ断成立するとすれば、線路側残留電圧は

$$\left. \begin{aligned} E_{0a} &= E \\ E_{0b} &= -0.5 E + 0.866 E \sin \omega t_0 \\ E_{0c} &= -0.5 E - 0.866 E \sin \omega t_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$





第5図 3相同時しゃ断時の相電圧ベクトル図

ただし  $C_S \ll C$  とし,  $E$ : 相電圧波高値,

$\omega = 2\pi f_0, f_0$ : 系統周波数

(2)式によって a 相と b, c 相との間にしゃ断時差のある場合には, b, c 相に残る電圧は  $-0.5E$  を中心に正負方向に対称になることがわかる。また(2)式は  $\theta_a' \approx 90^\circ$  なら充分適用することができる。3相同時しゃ断の場合は相電圧の瞬時値にはほぼ等しい。その場合でも, そのうち1相の相電圧位相角が  $90^\circ$  付近にあれば, 他の2相の残留電圧はおおよそ  $-0.5E$  を中心に正負方向に対称の値をとることは第5図で容易にわかる。しかも  $\theta_a' < 90^\circ$  の場合と  $\theta_a' > 90^\circ$  の場合では進み, 遅れ相の値が  $-0.5E$  を中心に入れ換えることもわかる。3相しゃ断後の電源側対地電圧はしゃ断瞬時に  $C_S$  にたくわえられた電荷による中性点シフト  $V_0$  がある。 $\theta_a' = 90^\circ$ , 時差  $\omega t_0$  の場合には

$$V_0 = -0.5E(1 - \cos \omega t_0) \dots\dots\dots (3)$$

3相同時しゃ断の場合には

$$V_0 = 0 \dots\dots\dots (4)$$

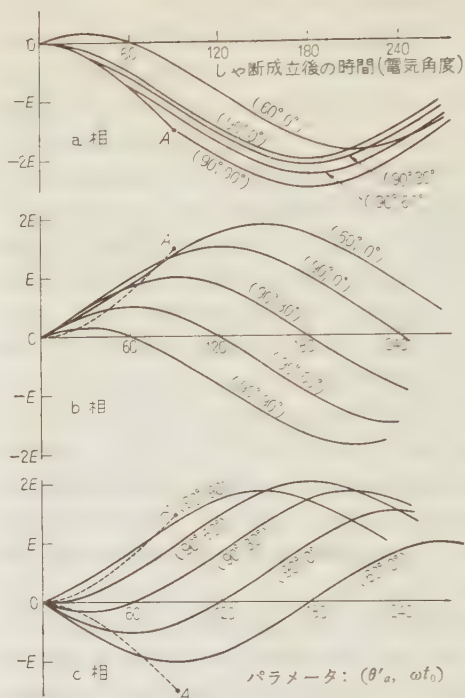
である。電源側対地電圧は(3)式の場合

$$E_\kappa = E \sin(\omega t + \theta_\kappa') + V_0 \dots\dots\dots (5)$$

ただし  $\kappa = a, b, c$ :  $\theta_a' = (\pi/2) + \omega t_0$ ,

$\theta_b' = (-\pi/6) + \omega t_0$ ,  $\theta_c' = (7\pi/6) + \omega t_0$

である。(4)式の場合  $\theta_a'$  は各相のしゃ断瞬時の値をとる。3相しゃ断後の各相極間回復電圧は, 電源側対地電圧(5)式から線路側残留電圧を差し引いて求めることができる。前章の調査より定常充電電流がしゃ断される過程として五つの形を想定する。すなわち  $(\theta_a', \omega t_0)$  の組み合わせで示せば  $(90^\circ, 90^\circ)$ ,  $(90^\circ, 60^\circ)$ ,  $(90^\circ, 30^\circ)$ ,  $(90^\circ, 0^\circ)$  および  $(60^\circ, 0^\circ)$  の5例である。それぞれの回復電圧を求め, 各相別にしゃ断時期を同一原点にそろえて示したのが第6図である。図によると第1相 a 相は  $\theta_a' = 90^\circ$  で  $\omega t_0$  が小さくなるほど絶対値は低下するが, 初期上昇率は一定で, 最初弧  $OA$  に沿って上昇する。ここで  $A$  点は  $\theta_a' = 90^\circ$  にて a 相がしゃ断成立し,  $\omega t_0 = 90^\circ$  だけ経過して b, c 相がしゃ断成立する時期に回復電圧が到達している点である。 $\omega t_0 = 60^\circ, 30^\circ$  の場合にはこれに相当する点は  $OA$  上の  $60^\circ, 30^\circ$  の位置にある。 $\omega t_0$  が大きい場合に

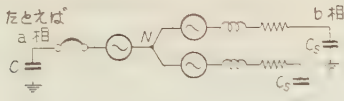


第6図 3相しゃ断後の回復電圧

は b, c 相がしゃ断成立するところには a 相の値は相当大きいので, これが登弧のきっかけとなることも考えられる。 $\theta_a' = 60^\circ$  の3相同時しゃ断では小さな極大値をこえるにすぎないので, 初期上昇率がきや増すとはいえ条件は悪いとはいえない。しかし b, c 相の回復電圧に  $OA$  を重ねてみると, 初期にはすべてこの曲線を上回る上昇をする。しゃ断が I 形であるという条件より絶縁耐力の回復は少なくとも  $OA$  を上回っているはずであるが, 第2表に示すように遅れてしゃ断成立する2相が発弧の誘因をなしている場合が多いことから考えると, b 相および c 相の絶縁耐力回復特性はその回復電圧の上昇速度と比較しうる程度の値しか有していないことが推定される。

#### 4. 発弧に伴う異常電圧の考察

(4.1) 第1回の発弧について 第4図の回路で3相しゃ断後1相が発弧すると, その相の対地電圧はその瞬間線路側残留電圧に等しくなる。それは発弧により  $C_S$  に  $C$  (ただし  $C_S \ll C$ ) が並列に接続されたことになるので, 初期値としては  $C_S$  の電圧いかにかわらず  $C$  の電圧に等しくなるからである。他方この発弧によって, b, c 相電圧は振動性の跳躍をする。この場合, 発弧した相の分岐すなわち電源の中性点  $N$  よ



第 7 図 1 相発弧後の回路状態

り  $L_T$ ,  $r$ ,  $C$  の直列になった分岐のインピーダンスは前 2 者を無視すれば  $C$  だけに支配されるので、第 7 図のごとく見てよく、現象は  $a-b$  相、 $a-c$  相の個別に検討してよい。したがって、ここに筆者らの報告した方法<sup>(5)</sup>[付録(1)参照]を利用することができる。すなわち

$$\left. \begin{aligned} E_{C1} &= \sqrt{3} E \sin' \omega t + \theta' \mp 5\pi/6 \\ &\quad + (E \sin \theta' + V_0 + E_{02}) \\ &\quad \times e^{-t/\tau} \cos \omega t - E_{02} \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

$$E_{C2} = E_{02}$$

ここで  $E_{C2}$  は第 7 図を参照して  $a$  相側の静電容量の端子電圧、 $E_{C1}$  は  $b$  相または  $c$  相静電容量の端子電圧、〔方向は付録(1)参照〕時間  $t$  は発弧瞬時を原点とし  $t=0$  における相電圧位相角を  $\theta'$  とする。発弧しない相の  $C_s$  端子電圧の初期値は(5)式より、また発弧した相の  $C$  端子電圧の初期値  $E_{02}$  は線路側残留電圧であるから、(2)式より決まる。上側符号は発弧相に対し遅れ相、下側符号は進み相に対応する。(6)式によれば発弧しない相は発弧時の対地電圧瞬時値より  $\omega/2\pi$  (c/s) (実測値  $2 \sim 5 \text{ kc}^{(1)}$ ) で余弦的に上昇する形を示している。理論波形はすべてこの形である。最高異常電圧を知るために第 1 波頭に注目する。発弧後  $t=\pi/\omega$  秒にて第 1 波頭に到達するわけであるが、周波数が高いのでこの時間的な変化は無視できる。また  $k = \exp(-\pi/\tau\omega)$  とおけば、 $E_{C1}$  の第 1 波頭  $E_{C1 \max}$  は

$$E_{C1 \max} = \sqrt{3} E \sin (\theta' \mp 5\pi/6) - k(E \sin \theta' + V_0 + E_{02}) - E_{02}$$

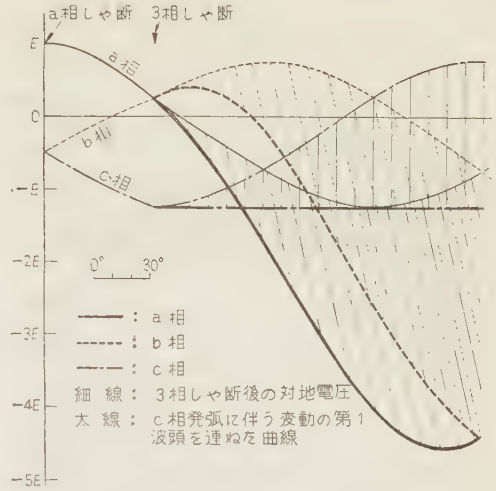
すなわち

$$\left. \begin{aligned} E_{C1 \max} &= -E \sqrt{\left(\frac{3}{2} + k\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} \sin(\theta' \pm \chi) \\ &\quad - kV_0 - (1+k)E_{02} \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

ただし

$$\tan \chi = (\sqrt{3}/2) / \{(3/2) + k\}$$

で与えられる。(7)式右边第 1 項は無関係な項で、具体的には 1 相が不ぞろいで投入されたときの他相の跳躍第 1 波頭に相当する。(7)式を用いて発弧したときの位相角  $\theta'$  をパラメータとしてこの曲線を描けば各第 1 波頭を連ねた曲線が得られ、これが異常電圧の一つの限界である。代表的自由振動周波数として  $4 \text{ kc}$  をとって求めた例を第 8 図に示す。第 6 図に示す

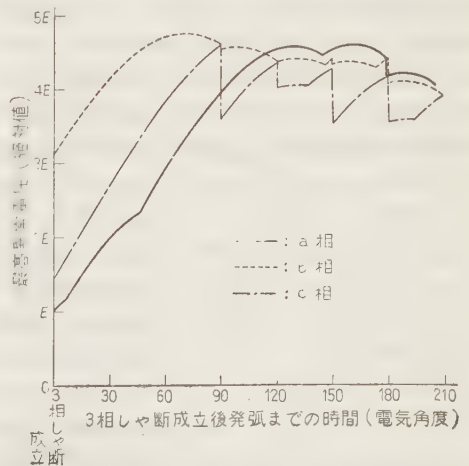


$\theta'_0 = 90^\circ$ ,  $\omega t_0 = 60^\circ$  で定常充電電流がしゃ断されたのち、最初に  $c$  相が発弧した例

第 8 図 1 相発弧に伴う対地異常電圧

回復電圧が上昇過程にある時期をその相の発弧領域とすると、それに対して遅れ相のほうが高い異常電圧を受ける。遅れ相に対してはその瞬時の対地電圧を高める方向に立ち上がっているのに反し、進み相に対しては低める方向に立ち上がっている。しかし跳躍量が多ければ反対極性の領域で、かなりの異常電圧に達することがある。各相について最高異常電圧を第 9 図に示す。縦軸には対地異常電圧絶対値として第 1 波頭をとり、横軸は 3 相しゃ断成立後発弧までの時間を電気角度にて示したものである。この図は第 6 図で用いた 5 個のモデルについてそれぞれ第 8 図のような図形を求め、すべてを重ね合わせた結果得たものである。

対地電圧の変化がわかると直ちに極間電圧の変化が



第 9 図 1 相発弧に伴う各相の最高対地異常電圧

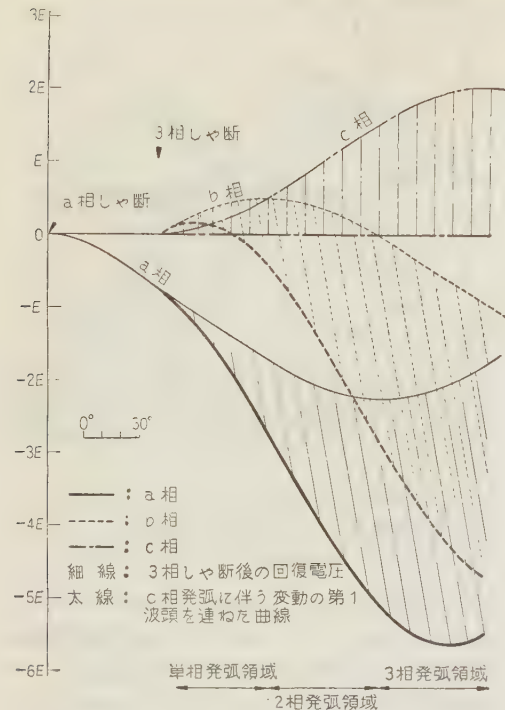


第 4 表 1 相発弧後各発弧様式に移行する領域幅  
(推 定 値)

しゃ断シーケンス		最初発弧 する相	進展する発弧様式		
$\theta_a'$	$\omega t_0$		3相発弧	2相発弧	単相発弧
90°	90°	a	60°	30° c	0°
		b	0°	140° c	20°
		c	80°	40° b	"
		小 計	140°	210°	40°
90°	60°	a	90°	30° c	0°
		b	0°	40° c a	10°
		c	60°	60° a	50°
		小 計	150°	130°	60°
90°	30°	a	70°	80° b c	0°
		b	60°	20° c a	"
		c	"	80° a	20°
		小 計	190°	180°	20°
90°	0°	a	30°	120° b	20°
		b	80°	30° c a	"
		c	30°	20° b	"
		小 計	140°	170°	0°
60°	"	a	0°	140° b	20°
		b	140°	0°	0°
		c	60°	20° b	"
		小 計	200°	160°	20°
総 計			820°	850°	140°

図面から求めた各発弧様式に移行する領域をまとめて第4表に示す。第10図の場合は本表上から9行目に相当する。実際には第2表に示すようにすべての相が均等な割合で最初の発弧を起すわけではない。また第2, 3相のしゃ断成立時期もしゃ断器によってかたよってくるので、それに応じて考えなくてはならない。そこで第2表(1)欄と第1図の結果を与えて、第2表(2)欄を推定してみた。〔付録(2)〕その結果水主町変電所では3相, 2相, 単相発弧の発生する割合が、48:35:17、鳥森変電所では73:25:2となった。これを実際に発生した件数、第2表(2)欄と比較すると前者は総件数が少ないうらみはあるが、いずれも比較的良好に推定されている。わずかに2例ではあるが、第4表は一応実際の傾向を示していることが立証された。

(4・2) 2相, 3相発弧について 2相発弧, 3相発弧中の自由振動による異常電圧の限度を再び前節の要領にしたがって考察する。第7図で右側にあるC<sub>g</sub>にさらに線路静電容量が並列にはいる形となるわけであるが、初期値はその線路側残留電圧によって決まってしまうので、2相発弧中の波形は発弧の順序に無関係に、組み合わせる2相が決まれば決まってくる。この場合発弧した2相の電圧, 電流には再び筆者らの報告した方法<sup>(5)</sup>を適用することができる。2相発弧にはい



$\theta_a' = 90^\circ, \omega t_0 = 60^\circ$  で定常充電電流がしゃ断されたのち、最初にc相が発弧した例

第 10 図 1 相発弧に伴う極間電圧の変動

わかり、一例として第8図に対応して第10図のように示される。このような解析によれば、極間電圧は最高6Eまで達することがわかる。この場合どちらの相がより高くまで達するかは個々に異なっており、対地電圧の場合ほど簡明ではない。しかしこのような高い極間電圧に最後まで耐えることは少なく、立ち上がり途中で極間絶縁が破壊されることが多い。すると対地電圧もその点までで、必ずしも第9図の限界まで達しない。この種の異常電圧の大きさはその相の極間耐力が高いほど高いことが重要な特徴である。第10図のような極間電圧の変動によって他の2相の極間絶縁の破壊が誘発されるか、されないかが決まる。そこでこのような変動量をもとにして、次のような大胆な、しかし主観的はあることの少ない条件のもとに、進展する発弧様式を推定した。すなわち、(1)斜線部が比較的重なっている部分はこの2相がともに発弧し、3相発弧に進展するであろう。(2)上下に離れている部分はいずれか一方の相が発弧し、2相発弧に進展するであろう。(3) $\omega t_0 \neq 0$  のとき第1相は比較的絶縁耐力がある。そのようにして求めた一例が第10図の下端の進展する発弧様式である。他のモデルについての同様な

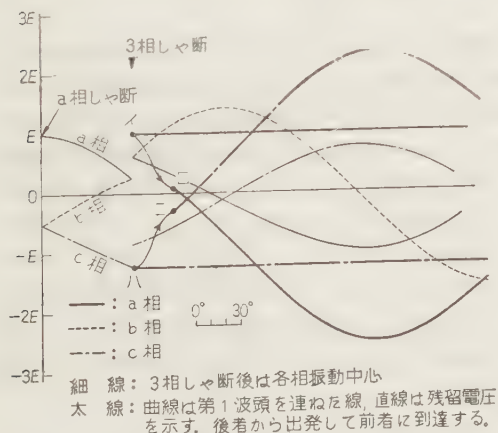
ると各相の線路側残留電圧より出発して、余弦的に上昇するのが典型的な波形であるが、ここではそれに伴う異常電圧の限界という意味で再び発弧位相角をパラメータとして各第1波頭を連ねた曲線を示す。

$$\begin{aligned}
 E_{C1\max} &= \frac{1}{2} \sqrt{3E} \sqrt{1+k^2+2k \cos \theta_f} \\
 &\quad \times \sin\left(\theta_1' + \frac{1}{6}\pi + \chi'\right) \\
 &\quad - \frac{1}{2}k(E_{01} + E_{02}) \\
 &\quad + \frac{1}{2}(E_{01} - E_{02}) \dots (8) \\
 E_{C2\max} &= \frac{1}{2} \sqrt{3E} \sqrt{1+k^2+2k \cos \theta_f} \\
 &\quad \times \sin\left(\theta_1' + \frac{1}{6}\pi + \chi'\right) \\
 &\quad - \frac{1}{2}k(E_{01} + E_{02}) \\
 &\quad - \frac{1}{2}(E_{01} - E_{02})
 \end{aligned}$$

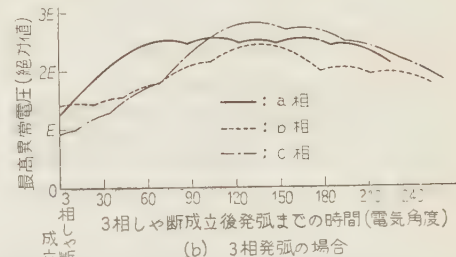
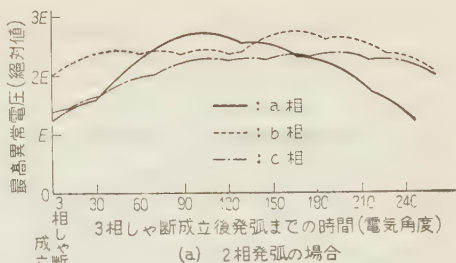
ただし

$$\tan \chi' = \sin \theta_f / (\cos \theta_f + k)$$

組み合わせとなる2相を添字 1, 2 で示し、それを相順の方向にとっておく。 $E_{01}$ ,  $E_{02}$ は両相の線路側残留電圧、 $\theta_1'$ は1で示される相の発弧瞬時の相電圧位相角、 $\theta_f = \omega(\pi/\nu)$ である。電圧の方向のとり方を考慮すれば(8)式より両者は第3項の示す直流分シフトを中心として上下対称に振動していることがわかる。代表的自由振動周波数として 400 c/s をとって求めた例を第11図(a-c相2相発弧)に示す。第1波頭へは発弧した時刻より 400 c/s の1/2サイクル遅れて、すな



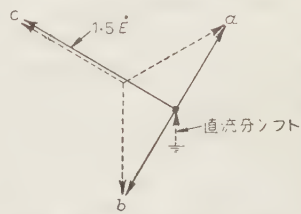
第11図 3相しゃ断後のa, c相2相発弧が起きた場合の対地異常電圧



第12図 2, 3相発弧に伴う各相の最高対地異常電圧

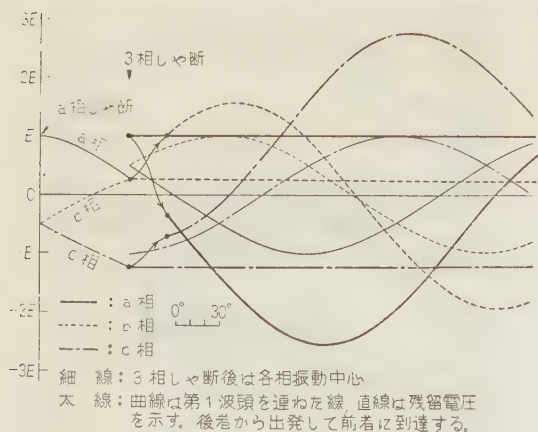
わち 60 c/s 基本波でいえば  $\theta_f = 27^\circ$  後に到達する。第11図の曲線は実際に第1波頭の到達する点を示すために  $27^\circ$  だけずらして示してある。たとえば3相しゃ断成立直後に a, c 相2相発弧にはいれば残留電圧を示すイおよびハ点より出発してロ、ニ点に達するわけである。イーロ、ハーニを結ぶ曲線はその場合の 400 c/s 第1波頭面を示す。また2相発弧の3種類の組み合わせについて最高異常電圧絶対値をまとめて第12図(a)に示す。両軸のとり方および求め方は第9図の場合と同じである。この種の第1波頭はある2相が発弧状態に入れば必ず到達する値で、その最高値はこの場合  $2.7E$  である。

2相発弧にはいると残る1相は立ち上がり途中より新しい振動中心に向って振動を開始する。2相発弧中の各相の基本波ベクトルは第13図に示す関係にあり、残る1相は図中  $1.5\vec{E}$  と示したベクトルを中心として振動する。しかし2相発弧中の直流分シフト量は最初の1相の発弧に伴うシフト量に比べて小さいので、ほとんど最初の立ち上がりを助長する方向にはならない。たとえば、第3図  $t_1$  以後 a, c 相2相発弧にはいると、b 相は最初の立ち上がり



第13図 2相発弧中の各相基本波ベクトル





$\theta_a' = 90^\circ$ ,  $\omega t_0 = 60^\circ$  で定常充電電流がしゃ断された場合

第14図 3相しゃ断後に3相発弧が起きた場合の対地異常電圧

り点より出発して、それとは反対方向にむかって新たに振動をはじめている。最初の立ち上がりが高い値にまで達しているほど反対方向にややふれすぎることがある。

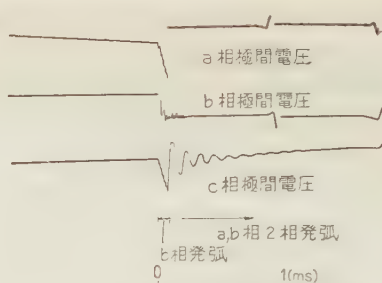
次に第1回の3相発弧の場合には発弧中の直流分シフトがないのが特徴で、各相がそれぞれ線路残留電圧から出発して平衡3相電圧を振動中心として自由振動する。再び第1波頭を連ねた曲線を示す。

$$E_{c\kappa \max} = E\sqrt{1+k^2+2k\cos\theta_p}\sin(\theta_{\kappa'}+\chi') - E_{0\kappa} \quad (9)$$

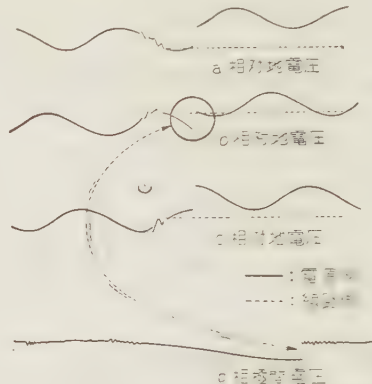
ただし  $\kappa = a, b, c$ ,  $\theta_{\kappa}'$ : 相電圧位相角, その他の定数は(8)式の場合と同様にとった。

代表的自由振動周波数を 400 c/s にとって求めた例を第14図に、最高異常電圧絶対値をとりまとめて第12図(b)に示す。この場合の最高値は  $2.8E$  で2相発弧の場合と大差ない。

(4.3) 発弧中の実際の電圧波頭 2相発弧例は第3図に示すとおりであるが、この場合a相は  $\theta_a' = 90^\circ$  にて、b, c相はそれに遅れること  $60^\circ$  すなわち  $\omega t_0 = 60^\circ$  にてしゃ断成立している。その後約  $90^\circ$  経た  $t_1$  においてc相が極間絶縁破壊しているの、第8図よりa, b相の第1波頭はそれぞれ  $3E$ ,  $1.25E$  に到達するはずであり、これはほとんど実現されている。また2相発弧にはいつからの第1波頭は、3相しゃ断成立後  $90^\circ + 27^\circ$  に現われ、その値は第11図より両相とも約  $2E$  に達するはずであり、 $t_2$  における波頭とよく一致している。しかし第3図で注意したいのは  $t_1$  における立ち上がり、式で求めるようななめらかな曲線ではない点である。それはc相の絶縁破壊の初期のボケからわかるように、完全な投入と等価でなく細い点滅



第15図 b相発弧に伴うa, c相跳躍の波形



第16図 非接地系単相発弧

がなされているので立ち上がりも不連続となる。類似の現象を高速度ブラウン管特種オシログラフ<sup>(6)</sup>で極間電圧について測定した例が第15図である。この場合b相が最初極間絶縁破壊しているが、はっきりとアーク電圧を示す以前に細かい点滅がある。このためa, c相の跳躍は明らかに段階を追って上昇している。その波頭面は単純な余弦の曲線より幾分ゆるやかとなっている。

この最初の発弧が不完全なまま、他相の発弧を誘発することなく終ることがある。これが前章で述べた単相発弧で、非接地系では降時発弧のような様相を呈する。しかし不安定なアークを通じて電源側は線路残留電圧に充電され、持続する。その一例が第16図である。b相極間電圧の特種オシログラム<sup>(6)</sup>より不安定に断続するアークであることが推定されるが、このためこの種のシフト量は、発弧直前の極間電圧瞬時値にちよど等しい。本例では  $1.5E$  のシフトのため、各相對地電圧の最高値は  $2.5E$  となり、系統周波数で持続する。

## 5. 結 言

非接地系B回路構成における線路充電電流しゃ断の実系統試験結果より、基本波充電電流しゃ断の状況を

明らかにし、3相しゃ断後の発弧状況をそれと関連づけて整理し得た。前者の事実に基づいて現実に即した基本波充電電流しゃ断の五つの形を想定し、実験事実を検討するとともに、3相しゃ断成立後第1回の発弧に伴う異常電圧の限界を理論的に解析した。3相回路における中性点シフトと自由振動の基本波への重ね合わせ位相の関係も考慮に入れて、その最高値はある1相の発弧による他の2相の跳躍では、遅れ相に最高約 $4.8E$ 、これに誘発されて2, 3相発弧にはいると最高約 $2.8E$ であることがわかった。ただし前者はそのときの極間絶縁耐力によって必ずしも波頭までいたらないこともありうる。これは3相回路独特の異常電圧で従来の再発弧、再点弧という観念で、その過酷度、軽重を表わすことはできない。また単相発弧による系統周波数の持続性異常電圧の発生する可能性を指摘した。このような各発弧様式の発生する割合を極間電圧から推定して、非接地系では2相、3相発弧がおよそ同等で発生することが推定された。最後に実例について波形的考察を述べてある。

本研究の遂行にあたり、常にご指導、ご援助を与えられた名古屋大学工学部宮地巖教授、職員ならびに卒業研究の学生各位に深く感謝するとともに、広はんな実系統試験実施のご便宜を与えられた、中部電力株式会社工務部の各位に厚くお礼申し上げる次第である。  
(昭和35年1月30日受付、同7月27日再受付)

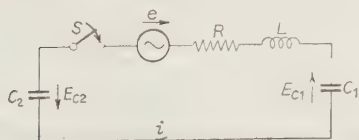
## 文 藝

- (1) 宮地・鬼頭・昭 34 東海支部議大 20
- (2) 送配電線異常電圧専門委員会：電気協同研究 12, 5 (昭 31)
- (3) 鬼頭・宮地・昭 34 東海支部議大 20
- (4) 再配電圧専門委員会：電気協同研究 14, 2 (昭 33)
- (5) 送配電線異常電圧専門委員会：電気協同研究 12, 5 (昭 31)
- (6) 送配電線異常電圧専門委員会：電気協同研究 12, 5 (昭 31)

付 録

(1) 付第1図において  $\alpha = C_1/C_2$ ,  $LRC_1C_2$  の直列共振角周波数  $\omega_1$ , 同共振の先鋭度  $Q_1$ , 電源電圧  $e = m \sin(\omega t + \theta)$ ,  $\omega$  は電源の角周波数,  $\theta$  は再点弧位相角とする。初期条件は  $t=0$  で  $i=0$ ,  $E_{C1}=E_{01}$ ,  $E_{C2}=E_{02}$  とする。

$$\begin{aligned} i = & \alpha C_1 e_m / (1 + \alpha) \sqrt{\gamma} \cdot \{ \omega \sin(\omega t + \theta + \Psi_1) \\ & + \nu_1 A \varepsilon^{-1/\eta_1} \sin(\nu t + \xi_1) \} \\ & - \{ \alpha \nu_1 C_1 (E_{01} + E_{02}) / (1 + \alpha) \sqrt{1 - 1/4Q^2} \} \end{aligned}$$



付第 1 図

$$\begin{aligned}
& \times \varepsilon^{-t/\tau_1} \sin \nu t \\
E_{C1} = & \alpha e_m / (1 + \alpha) \sqrt{\gamma} \{ -\cos(\omega t + \theta + \Psi_1) \\
& - A \varepsilon^{-t/\tau_1} \sin(\nu t + \xi_1 + \varphi_1) \} \\
& - \alpha (E_{01} - E_{02}) / 1 + \alpha \\
& \times \{ 1 - (1 / \sqrt{1 - 1/4 Q_1^2}) \varepsilon^{-t/\tau_1} \\
& \times \sin(\nu t + \varphi_1) \} + E_{01} \\
E_{C2} = & e_m / (1 + \alpha) \sqrt{\gamma} \cdot \{ -\cos(\omega t + \theta + \Psi_1) \\
& - A \varepsilon^{-t/\tau_1} \sin(\nu t + \xi_1 + \varphi_1) \} \\
& - (E_{01} + E_{02}) / 1 + \alpha \cdot \\
& \times \{ 1 - (1 / \sqrt{1 - 1/4 Q_1^2}) \varepsilon^{-t/\tau_1} \\
& \times \sin(\nu t + \varphi_1) \} + E_{02}
\end{aligned}$$

ただし

$$\begin{aligned} \nu &= \nu_1 \sqrt{1 - 1/4Q_1^2} \\ A &= 1 / \{ \omega/\nu_1 \cdot \cos \theta - 1/2Q_1 \cdot \sin Q_1^2 \}^* \\ &\quad * (1 - 1/4Q_1^2) \} + \sin^2 \theta \\ \gamma &= (1 - \omega^2/\nu_1^2)^2 + (\omega/Q_1 \nu_1)^2 \\ \tan \Psi_1 &= Q_1 (\nu_1/\omega - \omega/\nu_1), \quad \tan \varphi_1 = \sqrt{4Q_1^2 - 1} \\ \tan \xi_1 &= \frac{\omega}{\nu_1} \sqrt{i - \frac{1}{4Q_1^2}} \\ &\quad \times \frac{1 - \omega^2/\nu_1^2 + \omega/\nu_1 Q_1}{\omega/2Q_1 \nu_1 \cdot (1 + \omega^2/\nu_1^2) - \{1 + \omega^2/\nu_1^2\}^*} \\ &\quad \times \frac{\tan \theta}{* \times (1/2Q_1^2 - 1) \} \tan \theta \\ \tau_1 &= 2Q_1/\nu_1 \end{aligned}$$

(2) 烏森変電所における発弧様式の推定例について述べる。烏森変電所における試験では第1相しゅ断成立位相角  $\theta_a' = 70 \sim 80^\circ$ 、また  $\omega t_0 = 0 \sim 30^\circ$  であったから、(第1図参照)第4表の  $\theta_a' = 90^\circ$ ,  $\omega t_0 = 38^\circ$ ,  $\theta_b' = 90^\circ$ ,  $\omega t_0 = 0^\circ$ ;  $\theta_a' = 60^\circ$ ,  $\omega t_0 = 0^\circ$  の3欄より求める。第2表(1)欄よりI-b形のしゅ断形式で3相しゅ断成立後最初に極間絶縁破壊した相はa相:b相:c相 = 1:10:2である。ゆえに3相発弧の起きる実効領域はa相が最初に発弧して3相発弧に進展する場合

$$(70^\circ + 30^\circ + 0^\circ) \times 1/13 = 8^\circ$$

b相が最初に発弧して3相発弧に進展する場合

$$(60^\circ + 80^\circ + 140^\circ) \times 10/13 = 215^\circ$$

c相が最初に発弧して3相発弧に進展する場合

$$(60^\circ + 30^\circ + 60^\circ) \times 2/13 = 23^\circ$$

の三つの場合の和  $246^\circ$  と推定される。2相発弧の起きる実効領域は同様に  $84^\circ$ 、単相発弧のそれは  $5^\circ$  であるから、各発弧様式の発生する割合を百分率で示せば  $246^\circ : 84^\circ : 5^\circ = 73\% : 25\% : 2\%$  である。この比率は第2表(2)欄のI-b形における実際に起った発弧様式の比率をよく推定している。



UDC 537.525.8

## パルス放電より定常グローへの転移\*

資料・論文

35-112

正員 野 本 尚 敬† 正員 三 好 昭 一††

## 1. は し が き

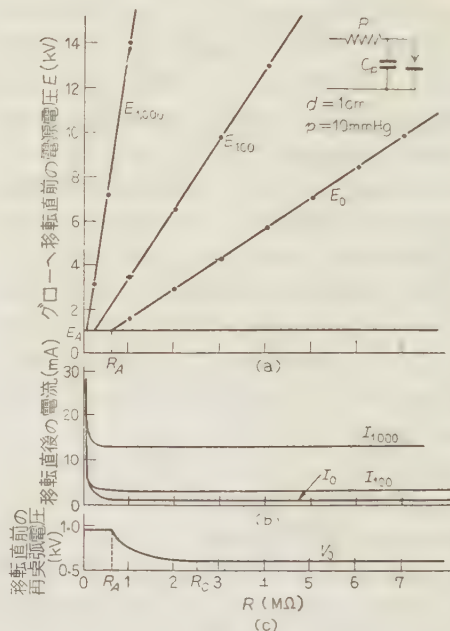
放電ギャップに直列に入れた抵抗を充分大きくすると、放電破壊と同時にパルス放電が起り、さらに電源電圧を上げてゆくと突発的にグローへ転移する。また定常グローから電流を減らしてゆくとパルス放電が発生して後に放電はやむ。これらの現象についてはすでに報告したところであるが、<sup>(1)</sup> 今回はグローを伴うパルスとこれから定常グローへ移行する現象をシンクロスコープを使って詳細な観測を行い、パルスからグローへの転移の問題を再検討する。

ギャップは 1 cm, 気圧 10 mmHg, 直径 7 cm の銅平板対針の正放電につき、器壁の影響のないと考えられる直径 30 cm の排気鐘内で実験した。

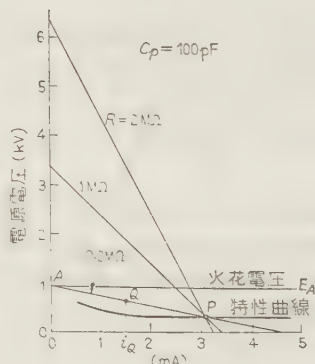
## 2. パルス放電からグロー放電への転移

第 1 図 (a) は、パルス放電からグロー放電に移る瞬間の電源電圧  $E$  と、直列抵抗  $R$  との関係を放電ギャップと並列に入れた容量  $C_p$  をパラメータとしてプロットしたものである。図中  $E$  の添字は  $C_p$  の値を pF 単位で表わしたもので、 $E_A$  は火花電圧を示す。図の  $E_0$  すなわち  $C_p=0$  (極間容量のみの場合) を例にとって説明すると、 $R_A$  より小さい  $R$  のときは放電開始と同時にグローに移るが、大きい  $R$  の範囲ではパルスを生じ、 $E_0$  直線の電源電圧でグローに転ずる。(b) 図はグローに移ったときの電流値を示したものである。

第 2 図は  $C_p=100$  pF のときのパルスからグローへ転じたときの負荷直線と定常グローの特性曲線を示したもので、抵抗が  $R_A$  以上の場合には  $R$  のいかんにかかわらず負荷直線は  $P$  点を通る。図で  $AP$  なる負荷直線を定める抵抗値は第 1 図の  $E_{100}$  の直線で決まる  $R_A$  にあたる。 $P$  の電流値は第 1 図 (b) で明らかなように  $C_p$  の値に関係し、 $C_p$  の大きいほど大きくなる。



第 1 図



第 2 図

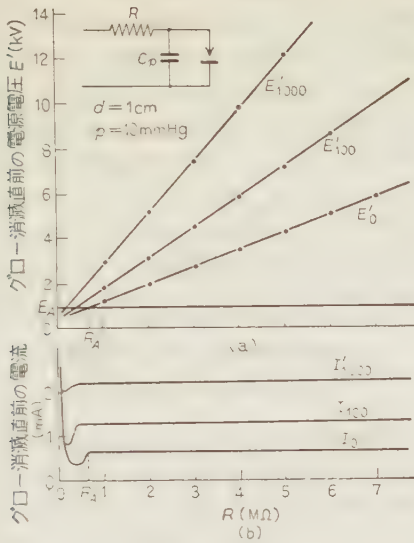
## 3. グローの消滅

グロー放電から電流を減少してゆくと、グローからパルスに移るときの電源電圧  $E'$  と  $R$  との関係は第 3 図 (a) のようになる。 $E'$  の添字は  $C_p$  の値である。 $E'$  と火花電圧  $E_A$  との交点  $R_A'$  以上の抵抗ではグローからパルスとなり、電源電圧が  $E_A$  に達すると放電はやむ。 $R_A'$  以下ではパルスを経ずしてグローは消え

\* Transition from the Pulsating Discharge to the Stationary Glow. By H. NOMOTO, Member & S. MIYOSHI, Member (Department of Physics, Faculty of Science and Literature, Ehime University).

† 愛媛大学教授、電磁気および実験担当

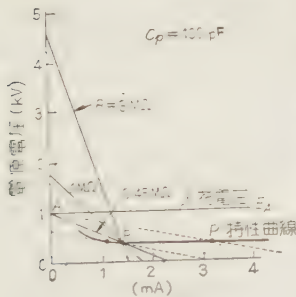
†† 現在、理化学研究所研究員



第 3 図

る。(b) 図はグロー消滅直前のグロー電流である。

第 4 図はグロー消滅直前の  $C_p=100$  pF の場合の負



第 4 図

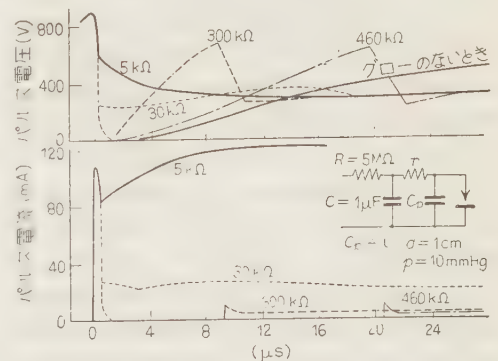
荷直線を示したもので、各直線は特性曲線上の  $P'$  点に集まる。 $P'$  の電流値は  $C_p$  の増加とともに増す。 $AP'$  は第 3 図 (a) の  $E'_{100'}$  で決まる  $R_A'$  の抵抗の負荷直線で、これ以下の抵抗ではパルスは現れない。電源電圧が火花電圧  $E_A$  以下になってもグローは継続し、 $P'$  に相当する点は  $R$  の減少とともに小電流側へ移行し、グロー消滅最小電流は  $AP$  (第 2 図に示す  $P$  点) に平行な負荷直線が特性曲線に切する点の電流にあたる。したがって、この抵抗は第 1 図 (a) の  $E'_{100}$  直線の  $R_A$  と同値である。

$C_p=0$ 、すなわち極間容量だけの場合のグロー消滅直前の電流  $I_0'$  の最小値は 0.4 mA で、そのときのギャップ電圧は 600 V である。これがグロー維持の最小電流状態で、600 V は第 1 図で  $R$  の充分大きいときのグロー転移直前の再点弧電圧に相当し、0.4 mA はそのときのパルス電流の直流分に一致している。第 1 図 (c) は  $C_p=0$  の場合のみのグロー転移直前のパルスの再点弧電圧を示したが、 $R$  が大きいところでは  $C_p$  に無関係に 600 V となる。

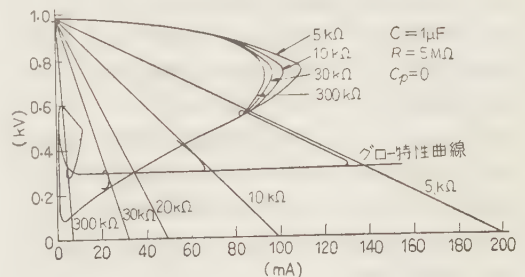
#### 4. グローを伴うパルス放電

次に第 5 図のような回路、すなわち前述の電源の代わりに  $R$  で電流を阻止した  $C$  なる容量を電源とするような回路を考えてみよう。 $r$  が上述のパルスを経てグローになるか、破壊と同時にグローへ移るかの境界直列抵抗  $R_A$  より小さくても、 $RC$  回路によるパルスが現われるが、このパルスには波尾にグロー状態を持っているはずである。なんとすれば、 $R=0$  の場合  $r$  が  $R_A$  より小さければ、放電破壊と同時にそのまま定常グローになってしまうが、大きい値の  $R$  のため定常グローは維持できず打ち切られてしまうからである。またこのパルス放電の外観もパルス放電の広がりの中に集束したグロー状態の存在を示している。

$C=1$   $\mu$ F,  $R=5$  M $\Omega$  の場合、 $r$  の種々の値に対する放電破壊直後のギャップ間電圧と電流とをシンクロスコープで測定して図示したものが第 5 図である。 $r=5$  k $\Omega$  のときはパルス波尾で電圧は時間とともに漸減し、電流は上昇して 320 V, 120 mA のグローとなる。 $r=30$  k $\Omega$  では波尾で電圧はゆるやかに上昇、電流は減少して 320 V, 20 mA のグローになる。 $r=300$  k $\Omega$  のときには 1 回パルスを終ってから 9  $\mu$ s あまり遅れて再度小さいパルスを起し、その波尾でグローに移っ



第 5 図



第 6 図



ている。460 k $\Omega$  のときも同様の経過をとっている。<sup>(2)</sup> この間の消息は第5図のようなオシログラムよりパルスの電圧-電流特性を描いてみるとさらに明りようになる。第6図は  $C=1\text{ }\mu\text{F}$  の場合のパルス特性である。パルス初期にはコンデンサ  $C$  の端子電圧をはば火花電圧とみて、 $r=5, 10, 20, 30\text{ k}\Omega$  および  $300\text{ k}\Omega$  の負荷直線を引くと図のようになる。 $r=300\text{ k}\Omega$  以外の場合には、放電はパルス特性と負荷直線の交点からほぼ負荷直線にそって進展し、グローの特性曲線と負荷直線との交点へ進み、ここでグローになる。これから次第に電流は減って、ついに消え一つのパルスは終る。図で明らかなように特性曲線より上でパルスを離れるときには電圧は下がり、電流は増してグローにはいり、特性曲線の下で離れるときはこの反対となることが了解できる。 $r$  が小さい  $5\text{ k}\Omega$  などでは、負荷直線よりやや下目にかたよって動くのは  $C$  の端子電圧がパルス電流のために低下するからである。 $r=300\text{ k}\Omega$  の場合には負荷直線とパルス特性の交点からグローにはいらず、再点弧電圧  $600\text{ V}$  までギャップ電圧が上昇して第2パルスを起して、その波尾で上記のような過程を経てグローになる。

第1パルスのピーク電流は  $r$  の小さいときは大きい、 $r$  の増加とともに低下しほぼ一定値となる。このパルスはギャップ間容量による放電と考えられる。第1パルスと第2パルスの時間間隔は  $r$  の増加とともに増し、 $20\text{ }\mu\text{s}$  ぐらいまで伸び  $r=600\text{ k}\Omega$  以上では第2パルスは消える。いいかえればギャップ間容量による放電に続いて  $C$  の放電による第2パルスが続くわけで、 $r$  が小さいときには両者が重ね合わさるので見掛けのパルス電流値は大きい。 $r$  が増すにしたがって第2パルスは波高値が小さくなり、第1パルスとの時間的間隔が大きくなり、第1パルスと第2パルスが分離するようになる。さらに  $r$  が増すと波高値は小さくなって両パルス間に持続される残留電流も小さくなり、 $20\text{ }\mu\text{s}$  以後に現われるときには残留イオンは消滅し、 $C$  の放電電流はギャップ間容量の充電に役立つのみとなって、第1パルスだけが現われるようになる。つまり再点弧電圧  $600\text{ V}$  のパルスに対する消イオン時間は  $20\text{ }\mu\text{s}$  で、 $20\text{ }\mu\text{s}$  以内での再点弧は必ずパルス波尾にグローをもっているといえる。

$r=600\text{ k}\Omega$  以上になると放電破壊のとき負荷直線はグロー特性を切らなくなり、 $C$  の充放電はギャップに影響を与えなくなって、グローを含む第2パルスはなくなる。第2章で述べた  $C_p=0$ ,  $R$  を  $R+r$  とした場合と同様になる。

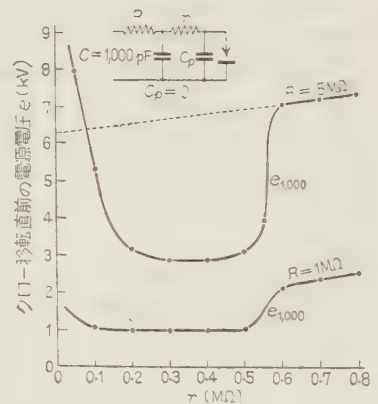
$C=100\text{ pF}$  を  $1,000\text{ pF}$  にすると、すなわち  $C$  を  $10$

倍にすると、破壊直後のパルスで第1パルスだけ現われる領域ではパルス間隔は5倍伸びるが、パルスの持続時間（グローの消えるまでの時間）は10倍に伸びる。しかし第1パルスと第2パルスの現われる領域ではパルス間隔は約10倍になるが、持続時間は5倍伸びる。つまり第1パルスだけの領域では  $r$  が  $R$  にくらべて小さいため、電源容量が大きくなったことに相当してパルス持続時間に、また第1、第2両パルスの現われる領域では、単位時間あたりのパルス数が減って間欠放電としての性質に寄与することになる。

## 5. グローを伴うパルス放電より 定常グローへの転移

第7図の回路で発生するグローを波尾に伴ったパルス放電が、電源電圧の上昇により定常グローへ移る瞬間の電源電圧を、 $r$  の関数として図示すると第7図のようになる。<sup>(3)</sup>ここに  $C=1,000\text{ pF}$  とし、 $R=5\text{ M}\Omega$  と  $1\text{ M}\Omega$  の場合を示した。 $r=0$  のときは  $C$  と  $C_p$  (この場合極間容量)

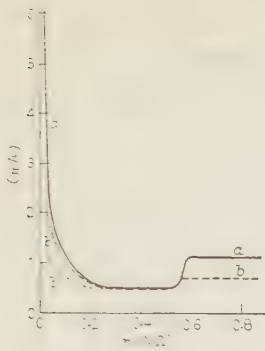
の和を第1図のギャップ並列容量とする  $E_{1000}$  の場合にあたり、グロー転移の電源電圧は非常に高いけれども、



第7図

$r$  の増加とともにパルスにグローが現われて急激に減少し、 $0.2\text{ M}\Omega$  から  $0.5\text{ M}\Omega$  までの間ではほぼ一定の最小値をがし、 $0.5\text{ M}\Omega$  から急に上昇して、 $0.6\text{ M}\Omega$  からは  $C$  の影響がなくなり、 $R+r$  を第1図のギャップに直列の抵抗  $R$  とする  $E_0$  の場合となる。したがってこの直線を延長して縦軸を切る点は、第1図の直列抵抗  $R$  のときの  $E_0$  の場合に対応する。

なお  $C=1,000\text{ pF}$  以下では曲線は  $0.6\text{ M}\Omega$  で直線に合致する点では同じであるが、最小値が左にずれて高くなり、 $C=0$  のとき直線と一致する。 $1,000\text{ pF}$  以上では図の場合とあまり変わらない。 $R$  を小さくすると曲線は下のほうへ移動するが、電源電圧の最低値は火花電圧以下にはならないで、ここでは破壊と同時に定常グローとなる。



第 8 図

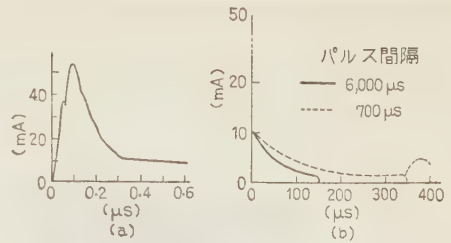
たものである。

$r=0$  では第 1 図 (b) の  $R=5\text{ M}\Omega$ ,  $C_p=1,000\text{ pF}$  の場合として  $12\text{ mA}$  となるはずで、 $r=0.6\text{ M}\Omega$  以上では  $C$  の影響がなく  $R$  と  $r$  が直列につながれた場合に対応するから同じく第 1 図 (b) で  $R=5.6\text{ M}\Omega$ ,  $C_p=0$  の場合として  $1.5\text{ mA}$  に近い値となるはずで第 8 図では  $1.2\text{ mA}$  となっている。第 6 図で説明したように  $C$  を電源とみるパルスと考えると、このパルスの波尾に現われるグローが  $C$  の電荷の減少により消える電流は第 3 図 (b) の  $R$  を  $r$  とみた場合となり、第 8 図の  $b$  曲線で示すようになる。これは  $a$  曲線のわずかに下に位置し  $r=0.2\text{ M}\Omega$  から  $0.6\text{ M}\Omega$  までの範囲ではほとんど一致している。すなわちこの範囲ではグローの消滅時の電流にだいたい相当するだけの電流値をもつ定常グローになる。 $0.2\text{ M}\Omega$  以下では実測によりグロー消滅電流曲線  $b'$  を得る。この曲線は  $r=0$  でグロー消滅電流  $2.3\text{ mA}$  [第 3 図 (b)] となるはずであるが、これに近い値に収れんする傾向をもっている。 $0.6\text{ M}\Omega$  以上ではパルス波尾にグローがないから、定常グローが消えるときの電流を示す  $b$  曲線は、この場合関係ない。

次に電源電圧を上げてパルスから定常グローへ転ずるときの様子をシンクロスコープを使って  $C=0.001\text{ }\mu\text{F}$ ,  $R=5\text{ M}\Omega$ ,  $C_p=0$  の場合について観察した結果につき述べよう。

(1)  $0 < r < 0.2\text{ M}\Omega$  の例として  $r=70\text{ k}\Omega$  の場合をとることにしよう。放電破壊直後のパルス電流波形は第 9 図 (b) の実線で示すようになる。(a) はこのときの波頂部の掃引を早くしてみたものである。パルス間隔は  $6,000\text{ }\mu\text{s}$  で波尾  $10\text{ mA}$  でグローとなり、 $150\text{ }\mu\text{s}$  で消えている。

電源電圧を上げてゆくと (b) の破線で示すようにパルス間隔は著しく短くなり、グロー時間も伸びて、電流消滅までの時間がパルス間隔  $700\text{ }\mu\text{s}$  の半分  $350\text{ }\mu\text{s}$

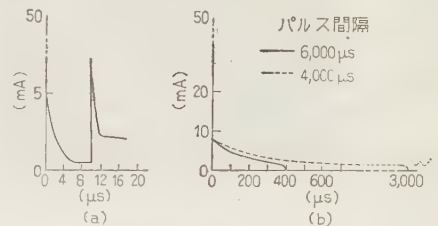


$C=1,000\text{ pF}$ ,  $R=5\text{ M}\Omega$ ,  $r=70\text{ k}\Omega$   
実線：破壊直後の波形，点線：グロー転移直前の波形

第 9 図

にまでなると、グローの終端に点線で表わしたような振動 (波高値  $2\text{ mA}$ ,  $10\text{ kc}$  ぐらい) が突然起り定常グロー  $1.4\text{ mA}$  に移る。ここで電源電圧の上昇によるパルス間隔の短縮は  $1/10$  程度であるのに対しグロー維持時間の伸びは  $2$  倍程度である。

(2)  $0.2\text{ M}\Omega < r < 0.5\text{ M}\Omega$  の例として  $r=300\text{ k}\Omega$  の場合につき述べることにしよう。破壊直後の電流波形は第 10 図 (b) の実線で示すようにグロー消滅までの時間は  $400\text{ }\mu\text{s}$  で、波頂部を拡大すると (a) のように第 1 パルス後  $10\text{ }\mu\text{s}$  して第 2 パルスが現われ、これの波尾でグローになっている。



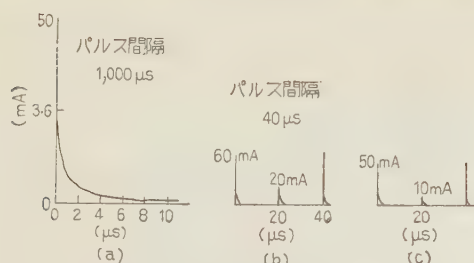
$C=1,000\text{ pF}$ ,  $C_p=0$ ,  $R=5\text{ M}\Omega$ ,  $r=300\text{ k}\Omega$   
実線：破壊直後の波形，点線：グロー転移直前の波形

第 10 図

電源電圧を上げてゆくと、(1) の場合にくらべパルス間隔は  $4,000\text{ }\mu\text{s}$  とあまり縮まないが、グロー終端までの時間は極端に伸び、 $3,000\text{ }\mu\text{s}$  に達すると終端より振動 ( $0.1\sim 0.5\text{ mA}$ ,  $50\text{ kc}$  ぐらい) が起り、これがまた  $1,000\text{ }\mu\text{s}$  近く伸び、同時にパルス間隔も多少広がるくらいになると突然定常グロー  $0.5\text{ mA}$  に移る。(1) の領域ではパルス間隔が短くなって、(2) の領域ではグロー持続時間が伸びて、グロー消滅の時間がパルス間隔の約半分となると、定常グローに移ることは注目値する。またグローが消えて定常グローに移るときに現われる振動についても今後の研究が必要である。なお第 1 パルスと第 2 パルスの間隔は電源電圧を上げてても不変である。

(3)  $r$  が  $0.6\text{ M}\Omega$  以上の場合として  $750\text{ k}\Omega$  をとると、破壊直後のパルス電流の波形は第 11 図 (a) の





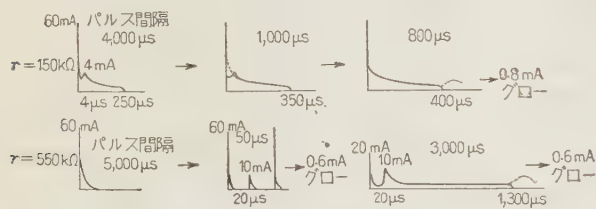
$C=1,000 \text{ pF}$ ,  $C_p=0$ ,  $R=5 \text{ M}\Omega$ ,  $r=750 \text{ k}\Omega$

第 11 図

ようになり、パルス間隔は  $1,000 \mu\text{s}$  である。

電源電圧上昇とともにパルス間隔は急激に短縮され、波高値は大きくなって  $80 \text{ mA}$  に達するとそれから低下しはじめ、 $60 \text{ mA}$ 、パルス間隔  $40 \mu\text{s}$  近くになると (b) 図に示すように間隔中央部に再点弧電圧  $600 \text{ V}$  の第 2 パルスが出現する。さらに電圧を上げると第 1 パルスの再点弧電圧も下がり、(c) 図の状態になると第 1 パルス、第 2 パルスの存在するままで定常グロー  $1.2 \text{ mA}$  に突発的に移行する。

$r=0$  の場合、 $R=5 \text{ M}\Omega$ ,  $C=C_p=0$  のときにはほとんど上記 (3) の場合と同じ過程をとるが、定常グロー



第 12 図

へ移行直前のパルス放電はパルス間隔  $20 \mu\text{s}$  の第 2 パルス (再点弧電圧  $600 \text{ V}$ ) だけの状態である。

以上三つの領域の中間領域では破壊直後のパルスは抵抗  $r$  の大きい側の形態をとり、電源電圧上昇の途中で抵抗の小さい側のパルス波形に変わり、この領域の過程を経て定常グローに転ずる。

たとえば  $r=150 \text{ k}\Omega$  のときには第 12 図に示すように初めは二つのパルスが現われるが、途中急に一つのパルスになり上述の (1) の過程で定常グロー  $0.8 \text{ mA}$  に移行する。

また  $r=550 \text{ k}\Omega$  の場合には破壊直後は単一パルスだけであるが、途中第 1 パルスより  $20 \mu\text{s}$  遅れて第 2 パルスが現われて定常グローに移るが、グローから電流を減らしてゆくと二つのパルスが現われ、これからまた電圧を上げるとパルスのグロー時間が著しく伸び、(2) の場合と同一条件で  $0.6 \text{ mA}$  の定常グローになる。

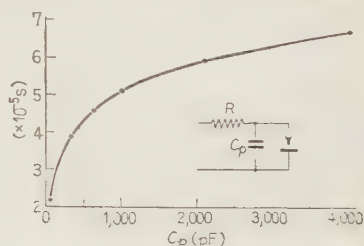
## 6. パルス放電から定常グローへの転移の再検討

以上の所論より、第 1 図の回路で定常グローに転ずる直前のパルス波形を整理してみる。グロー転移直前のパルス再点弧電圧を示す第 1 図 (c) で、 $R$  が  $0$  から  $0.2 \text{ M}\Omega (R_A')$  までの範囲では、放電破壊最初の第 1 パルスの波尾から、 $R$  が  $0.2 \text{ M}\Omega (R_A')$  から  $0.6 \text{ M}\Omega (R_A)$  までの範囲では最初の第 2 パルスの波尾のグローからそのまま定常グローにはいる。

また  $R$  が  $0.6 \text{ M}\Omega (R_A)$  から  $2.5 \text{ M}\Omega (R_C)$  までの範囲では再点弧電圧が  $600 \text{ V}$  より高い第 1 パルスと  $600 \text{ V}$  の第 2 パルス共存のまま第 2 パルスより移る。

$R_C$  以上の領域では第 1 パルスだけの状態から電源電圧を上げてパルス間隔が短縮するにしたがい、残留電流は大きくなり、再点弧電圧は降下し、パルス間隔が  $20 \mu\text{s}$  になると再点弧電圧最小の  $600 \text{ V}$  の第 2 パルスが生じ、次いで第 1 パルスも再点弧電圧が下がって第 2 パルスと同じになり、残留電流は  $0.4 \text{ mA}$  となり突発的に定常グローに移る。

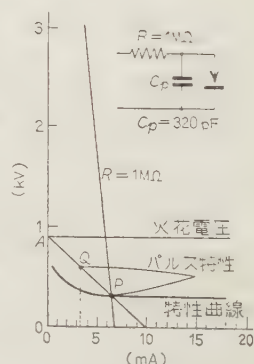
パルス間隔は次のパルスを生ずるに充分な消イオンに必要な時間で、パルス間隔がこの時間より短くなれば



第 13 図

ば波尾でグローにはいることになる。消イオン時間は残留電流に関係し、 $C_p$  が大きいと再点弧電圧  $600 \text{ V}$  に対する消イオン時間は長くなる。第 13 図は  $C_p$  に対する消イオン時間を示し、 $C_p$  が大きく残留電流の大きいところでは消イオン時間は長くなっている。

第 1 図 (a) は  $C_p$  に対してグロー転移直前の電源電圧を表わしたものであるが、このときのパルス間隔は再点弧電圧  $600 \text{ V}$  に対する消イオン時間になっている。第 14 図は  $C_p=320$



第 14 図

pF のとき再点弧電圧 600 V のパルスが波尾でグローに移るときの様子を示したもので、 $i_Q$  が残留電流つまりパルス電流の直流分で負荷直線と特性曲線の交点  $P$  が定常グローになったときの電圧と電流である。

## 7. 結 言

気圧 10 mmHg, ギャップ 1 cm の正放電ギャップに直列に抵抗  $R$  を入れて放電破壊させると、 $R$  が一定値  $R_A$  にくらべて充分小さいときにはギャップの静電容量による 1 個のパルスの波尾で、また  $R$  が  $R_A$  に近いところでは再点弧電圧 600 V の第 2 パルスの波尾からグローに移る。したがってこの範囲では破壊と同時に定常グローになる。

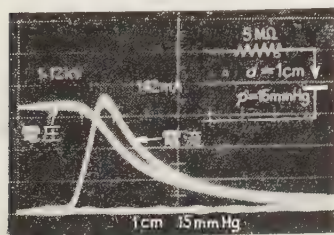
$R$  が  $R_A$  より大きいときは放電破壊と同時にパルス放電が起り、電源電圧を上げていくと、 $R$  が  $R_A$  に近い値ときは漸次パルス間隔が短縮して、パルスのあと 20  $\mu$ s 遅れて再点弧電圧 600 V の第 2 パルスが現われ、第 1 パルスの再点弧電圧が低下してゆくうちに両者共そのまま第 2 パルスからグローに移る。 $R$  が充分大きい場合にはパルス間隔 20  $\mu$ s の第 2 パルスだけとなり定常破壊になる。すなわち最低再点弧電圧 600 V に対する陽イオン時間は 20  $\mu$ s で、これ以下にパルス間隔が短縮するとパルス波尾からグローに移行する。

グローを波尾にもつパルスから定常グローに転ずるときには、第 1 パルスだけ現われる場合はパルス間隔が著しく短縮して、また二つのパルスが出現する領域では第 2 パルスの波尾のグローははなはだしく伸びて、ともに波尾のグローがパルス間隔の半分ぐらいにまで持続するようになると、パルスに含まれるグローの終端に振動電流が現われ、定常グローに転移する。

## 付 言

ギャップの長さ 1 cm, 気圧 10 mmHg 以上の正放電パルスの電圧、電流波形は第 15 図に示すように単純なものであるが、10 mmHg 以下になると、電流波形は二つの山をもつようになる。

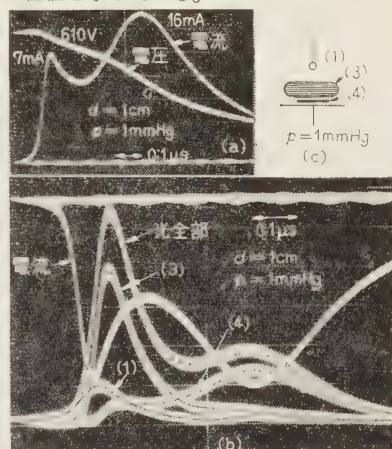
第 16 図 (a) は  $p=1$  mmHg の場合のパルス電圧、電流の波形で、このときの放電外観は (c) 図にみられるように赤い陽極部 (1) と陽極前面に水色に光る部分



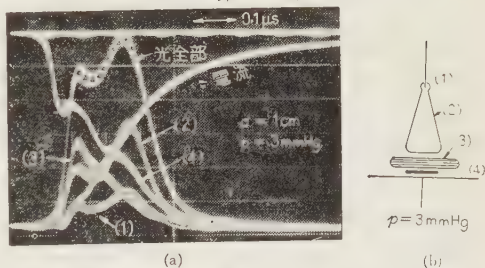
第 15 図

(3) と陰極直前の青色の部分 (4) とからなっている。これら各部分の光の強さを光電子増倍管で測定した結果が (b) 図に示

してある。上より下向きに入れている波形は電流波形である。パルス電流の第 1 の山に対して (1) と (3) 部分が極大となり、(1) の極大値のほうが (3) のそれより約  $2.5 \times 10^{-8}$  s 早い、また電流の第 2 の山では (4) 部分が最大値をとり、(1) が再び (4) より約  $3 \times 10^{-8}$  s 遅れて極値を示している。



第 16 図



第 17 図

第 17 図は  $p=3$  mmHg の場合で、このときには光柱 (2) が陽極前面に現われ、この部分の光は電流パルスの二つの山で、ともに極値を示しているが第 2 の山で著しく大きくなっている。他はだいたい 1 mmHg の場合と変わっていないが、気圧の増加とともに (2) が大きい影響力をもつようになり、(3) は消えてゆく、(2) と (3) は定常グローではみられない。<sup>(4)</sup>

以上の結果よりパルス電流の第 1 の山では陽極部が破壊し、次いで第 2 の山で陰極部が破れ、再度陽極部が光って全路破壊が終ると考えられる。気圧が大きくなると、電流の第 1 の山は消えて光柱部と陰極部の発光が主となり、ほとんど同時に極大値をとるようになる。(昭和 35 年 3 月 7 日受付, 同 8 月 5 日再受付)

## 文 献

- (1) 野本・三好: 電学誌 78, 611 (昭 33); 野本・三好: 物理学会大会 (昭 32-4)
- (2) 野本・三好: 物理学会大会 (昭 34-4)
- (3) 野本・三好: 物理学会大会 (昭 33-10)
- (4) 野本・三好: 物理学会大会 (昭 34-10)



# 絶縁試験における交流電流法の電圧-電流特性 に関する一考察\*

正員 家 田 正 之†

## 1. 結 言

電力系統の事故未然防止による安定な電力の供給は最近ますますその重要性を増したが、これに伴ない回転機コイルの非破壊的な絶縁診断法の確立は、内外ともに非常に注目されてきた問題である。これらコイルの絶縁状態を監視する手段として、古くから各種の試験法が研究開発され、広く実用化されているものもあるが、<sup>(1)</sup> 化学的あるいは物理的の絶縁構成の劣化を判定するに止まり、もっとも要求される絶縁破壊電圧の予測に対しては不十分である。近年、主としてアメリカにおいて、過電圧印加による絶縁物損傷の危険度の低減、あるいは試験設備の小形簡易化などの利点から直流高圧法が開発され、<sup>(2)</sup> 種々の劣化判定ならびにその電圧-電流特性の外そうから、直流破壊値の推定が可能であることが指摘された。その後この方法に対する研究の蓄積とともに、種々改良も加えられたが、<sup>(3)</sup> 破壊値の予測は常に可能ではなく、沿面放電が破壊過程に含まれるときのみ予測可能であること<sup>(4)</sup> および実用機器の交流破壊電圧と直接的関連をもたず、両者の破壊値の比も広範囲に分布していること<sup>(5)</sup> などが示され、今後さらに検討すべき多くの問題を含んでいるようである。

一般に電気機器の絶縁構成は、要求される種々の条件を満足すべく、多種類の誘電体の組み合わせであり、その絶縁性能を支配する因子も、個々の誘電体の特性以外に、製作上の差異その他使用中での種々の劣化現象など非常に複雑であって、絶縁破壊機構も一概に論ずることは困難である。すなわち、このような実用機器絶縁において絶縁破壊を起す機構が常に一定でないことが、破壊値の予測を困難ならしめている一因であるが、これらに対しては、破壊した数多くの統計をもとにして、破壊の形を整理し、各破壊の形に対する基礎的研究を積重ね、その破壊機構を解明してゆけば、おのおの場合に対していかなる試験法がもっとも有

効であるかを決定できるものと思う。最近この線に沿った研究が直流高圧法以外に交流破壊電圧と他の特性との相関について実施されてきた。<sup>(6)(7)</sup>

これらのうち、長期間多くの発電機コイルならびに計器用変成器などの乾式絶縁を対象として調査されてきた交流絶縁破壊電圧と、交流電流法における第2電流急増点の電圧との相関が指摘されてきたが、本論文はこれらの相関性ならびに電圧-電流特性に与える絶縁構成の影響について基礎的考察を行ったもので、これら試験法の今後の運用ならびに改善に際し参考となれば幸である。

## 2. 交流電流法における電流急増点

発電機コイルに対する交流電流試験における電流急増点と交流短時間破壊電圧との相関に関する研究結果は、回転機試験施設委員会ならびに絶縁劣化研究懇談会（電力中央研究所主催）などにおいて詳細が発表されているが、<sup>(8)</sup> これらは充分活用されるには種々吟味すべき問題があるように思われ、かつ、その物理的意義に関しては不明な点が多い。ここに従来の結果を要約すると、

(1) 発電機コイルの交流印加電圧と電流との関係は、第1図に示すごとく、電圧-電流曲線上に比較的明らかな電流点  $P_{11}$ ,  $P_{12}$ , ...を示すものが多い。

(2) 特に  $P_{12}$  の低いものほど、交流短時間破壊電圧  $V_s$  は低く、 $P_{12}$  と  $V_s$  とはほぼ次式を満足している。

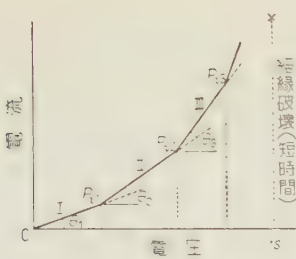
$$V_s = (2 \sim 2.5) P_{12} \dots\dots\dots (1)$$

(3) 上式は新品コイル、撤去コイルにもともに適用でき、 $P_{12}$  の明らかでないものは上記比率よりはずれ、吸湿のはなはだしい場合も適用困難である。などであるが、以上は実験的に多くの統計を基にして得られたもので、これらの理論的裏づけが得られれば、おのずからその適用範囲、他の試験法併用の必要の有無とか劣化状態の非破壊的推定にも有益である。

筆者はこれらの基礎的問題を探究するため、(1) 撤去コイルによる電流急増点の確認、(2) 電圧-電流特性の詳細な検討、(3)  $P_{12}$  の出現と移動の条件、(4)

\* A Consideration on V-I Characteristics of High-Voltage AC Method for Insulation Test. By M. IEDA, Member (Faculty of Engineering, Nagoya University).

† 名古屋大学工学部助教授、高電圧工学、電気材料担当



第 1 図 交流電流試験の電圧-電流曲線と電流急増点

あわせて直流高圧試験の結果も比較検討した。

### 3. 実験結果

(3.1) 発電機撤去コイルについての実験 中部電力株式会社より提供をうけた 10 本の撤去コイルについて交流電流試験 および直流高圧試験 を実施し、さらに種々の吟味実験を行った。撤去コイルは、1,250 kVA, 3.3 kV 発電機の固定子コイルで、約 36 年使用後撤去したもので、マイカ紙および絶縁布を基材とし、これに黒色ワニス含浸をした A 種絶縁構成である。

(a) 交流電流試験 上記撤去コイル 5 本を用い、亀甲形各コイルのスロット部分の上口側と下口側とを別々に実験し、計 10 回の試験を行った。第 2 図 (a) に実験回路を示す。実験はすべて室温 (10~15°C) にて実施し、コイルは実験前特に乾燥その他の処理は行っていない。コイル導体を一括して高圧側電極とし、低圧側はコイルの外周にすずはくを巻き、絶縁部分とのすき間をなくすためグリスをもつて接着した。コイル電極構造を第 2 図 (b) に示す。測定部分の外側に金網によるしゃへいを施したが、交流試験では、ほとんどその効果は現われなかった。交流電流試験は、電

発電機コイル以外の他の電極ならびに絶縁構成による検討、(5) 電圧、電流位相ならびに波形の解析、などを実施し、これらを基礎として理論的考察を行い、

圧-電流特性を対象とするので、その電源波形に注意を要する。このような電源波形の影響に関しては今後の研究に待つところが多いが、本研究では現象をなるべく簡単化するため、以下の実験では、常に第 2 図 (a) に示すように、ろ波回路を電源高圧側にそう入し、なるべく正弦波に近いもので行った。

上記、撤去コイルについての実験結果を要約すると次のようになる。

(1) いずれの場合も、電圧-電流特性上の各測定点は、ほぼ第 1 図に示すように、いくつかの直線群で表わされ、各電流急増点  $P_{i1}, P_{i2}, \dots$  を与える。第 1 表にこれらの結果を示す。一般に  $P_{i2}$  以後、さらに電圧を上昇すると  $P_{i3}$  が現われるが、電流値が大きくなるので、 $P_{i1}, P_{i2}$  ほど明りょうに急増点を決定するこ

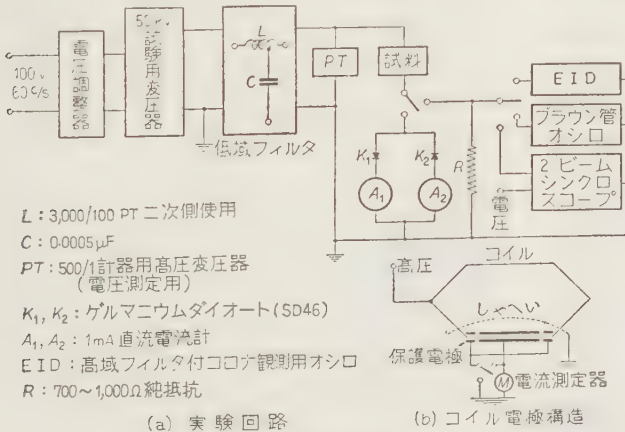
第 1 表 撤去コイルの交流電流試験結果

コイル番号*	$P_{i1}$ (kV)	$P_{i2}$ (kV)	直線のこう配			$V_s$ (kV)	$V_s/P_{i2}$	破壊場所
			$\tan \theta_1$	$\tan \theta_2$	$\tan \theta_3$			
1	4.35	7	0.38	0.7	0.9	15.5	2.21	スロット内
1'	4	6.5	0.35	0.59	0.75	22.5	3.21	"
2	3.5	5	0.39	0.6	0.75	10.5	2.1	スロット端
2'	7	7	"	0.65	0.9	11	1.57	"
3	4.3	6	0.41	0.6	0.73	14	2.33	スロット内
3'	3.8	6.3	0.38	0.59	0.77	13	2.06	"
4	3.9	6	0.39	0.58	0.65	13	2.17	スロット端
4'	4	6.75	0.38	0.6	0.75	14	2.08	スロット内
5	3.7	7	0.35	0.68	0.75	14	2.00	スロット端
5'	3.9	7.5	0.33	0.64	0.82	13	1.77	スロット内

(注) 1, 2, 3, ...: コイルの下口側, 1', 2', 3', ...: コイルの上口側

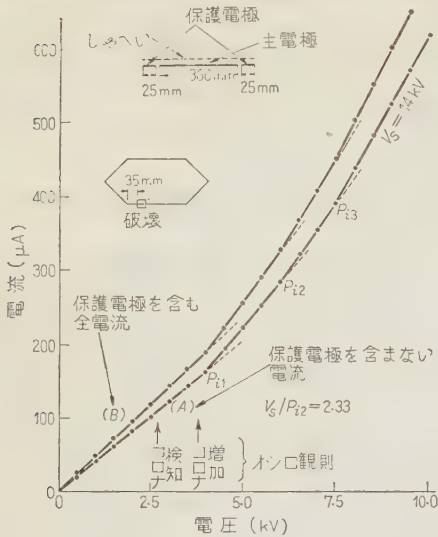
とはむずかしい。第 1 表のように、10 回の試験で、7 回は  $V_s/P_{i2}$  の比が (1) 式の範囲にはいったが、3 回はこの範囲外であった。また  $P_{i2}$  を決定するときに関係する  $P_{i2}$  以後の直線のこう配  $\tan \theta_3$  は、 $P_{i1}$  以前のこう配  $\tan \theta_1$  の 1.7~2.4 倍の範囲である。

(2) 第 3 図は電圧-電流特性の一例で、 $P_{i1}$  付近の電圧に至るとブラウン管上にはパルス波形が次第に増加する。同図は高圧側が正極性のときの電流値 ( $I_+$  正電流と記す) を示したが、撤去コイルの場合、この電流と高圧側負極性のときの電流値 ( $I_-$  負電流と記す) とは、第 2 表にその一例を示すように非常に類似し、極性効果を示さない。直流分法では、これらのわずかな差が直流分として検出されるわけであるが、<sup>(8)</sup> この場合  $P_{i2}$  その他の点は正負両極性電流によってほとんど



第 2 図 実験装置





第 3 図 電圧-電流特性 (No. 3 コイル下口)

第 2 表 正負両極性電流および保護電極効果\*

電 圧 (kV)	2	4	8	10
$I_+$ 正電流 (μA)	79	164	435	615
$I_-$ 負電流 (μA)	79	165	635	615
$I_+' (保護電極を含む)$ 正電流 (μA)	91	191	500	710
$I_+' / I_+$	1.15	1.16	1.15	1.15

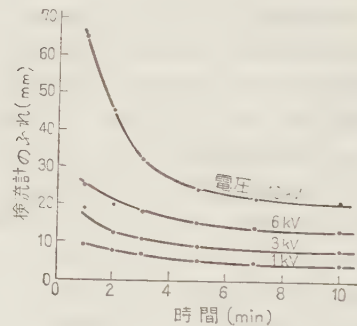
(注) \*: 撤去コイル

ど変化しない。

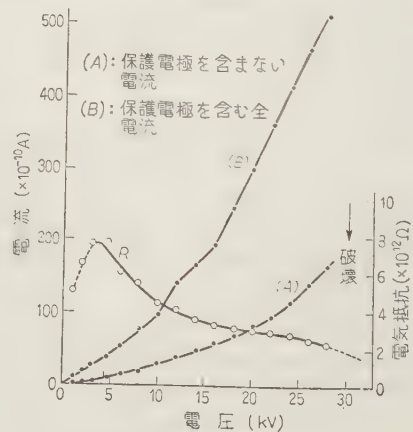
(3) 保護電極の効果 低圧側電極には、第 3 図中に示すように、両端に保護電極が設けてある。第 3 図曲線(B)は、これら保護電極を含めた全電流値を示すもので、これと保護電極を含まない電流値との比は、第 2 表中  $I_+' / I_+$  で与えてあるように、各電圧ではほぼ同一値を示し、かつこの比は、両者の場合の低圧側電極の長さの比、すなわち 410 mm/360 mm (第 3 図参照) = 1.14 とほとんど一致する。これは交流試験において、電極端部の沿面放電電流あるいは表面漏れ電流成分は測定電流値にくらべてきわめて少ないことを示す。以上の事実は、後述の直流試験におけるこれら結果とともに、交流電流の原因の考察において重要である。

(b) 直流高圧試験 交流電流法における電流成分の解析を行うため、同一撤去コイルを使用して計 4 回の直流電圧-電流特性を測定し、比較検討した。測定回路は第 2 図の装置中に高圧整流管を用いた整流回路をそう入し、フィルタとして 0.15 μF のコンデンサ

および 2.5 MΩ の抵抗を用いた。電源の一次側には定電圧装置を 2 段使用して電源の安定化を保ち、直流電流の測定は反照形検流計を用いた。第 4 図は吸収電流の一例を示すが、漏れ電流の測定は、吸収電流が充分小さくなったと思われる 5~10 min 後に行った。電極構成は第 2 図中に示すものと同一のものを用い、第 5 図は電圧-電流特性の一例を示す。電流は電圧とともに非直線的に増大するが、交流電流の場合にくらべて 5~10 kV 以上の電圧で電流値は若干不安定となる。直流電流は絶縁構成を通して流れる導電電流が主体であるが、(保護電極を設けた場合) これらの電流の絶対値は交流電流値にくらべてきわめて少なく (たとえば電圧 5 kV で直流値  $9.5 \times 10^{-10}$  A, 交流値  $100 \times 10^{-6}$  A) また交流試験における電流急増点以後の電流増加成分もこれらにくらべて相当大きい。(第 3 図, 第 1 表参照) 第 5 図 (B) 曲線は両端の保護電極を含めた全電流で、前述交流試験の場合と異なり、沿面放電電流あるいは表面漏れ電流の寄与は非常に大きい。第 5 図に示した撤去コイルの場合、30 kV で絶縁破壊を生じたが、電圧-抵抗曲線は第 5 図中 R で示され、



第 4 図 吸収電流-時間特性



第 5 図 直流電圧-電流特性

零抵抗値への外そうによる直流破壊値の推定はできず、Rushall 氏らの結果<sup>(4)</sup>と同様、この方法を適用することはできなかった。

以上の撤去コイルに関する交流試験および直流試験の結果から次のことが判明する。すなわち交流試験の電流成分およびその電流増加分に与える誘電体内を通過する純粹の導電電流（イオン電流あるいは電子電流）成分の影響は、絶縁破壊直前は別として、本実験の電圧範囲では非常に少ないものである。したがって交流電流成分の主体は、前述の交流試験結果 (2), (3) および直流試験結果、さらに後述する電圧-電流位相関係の結果に示されるごとく、誘電体の静電容量を通して流れる充電電流成分および交流損に相当する電圧と同相の電流成分であり、さらに電流急増点の出現なども、これらの変化に関連した現象であることが判明する。このとき誘電体自身の誘電率および交流損の電圧に対する非直線性が、 $5 \times 10^4 \text{ V/cm}$  程度以下の電界で顕著に現われることを期待することは困難である。結論として、発電機コイルのような導体上に絶縁物を積層した絶縁構成を空気層の存在を考慮に入れた複合誘電体として、その電圧-電流特性上の諸性質を検討する必要がある。次節以下にこれらに対する吟味実験の結果を示す。

### (3・2) 空気層を含む複合誘電体に関する模型実験

空気層を考慮に入れた複合誘電体構成を模型的に作成し、交流電流法を適用し、その電圧-電流特性、 $P_{11}$ 、 $P_{12}$  などの電流急増点出現の条件およびその出現位置について調べた。実験に用いた電極構成を第 6 図に示す。図中  $I$  はフィルム状誘電体で、比較的均一なポリエチレン、可塑化塩化ビニール、マイラなどと変化し、誘電体の種類、形状およびこれらを積重ねた効果を調べた。電極構成中 (a), (b) は、電圧上昇とともに試料表面に現われる沿面コロナ放電が電圧-電流特性に与える効果に注目したもので、(c) は半球電極の表面に沿って誘電体まで、種々の沿面距離のエアギャップが連続的にならんだ場合に相当し、(d) は沿面放電を極力防止して、試料と電極面との接触不良による

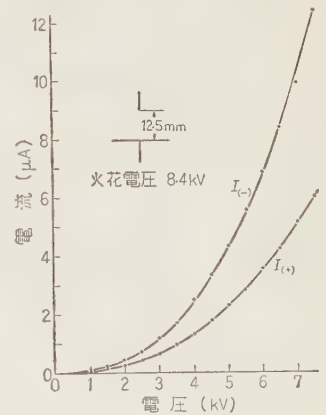
第 3 表 正負両極性電流の極性効果\*

電圧 (kV)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$I_+$ 正電流 ( $\mu\text{A}$ )	0.2	0.4	1.1	2.0	3.3	4.6	6.7	9.7	12.7
$I_-$ 負電流 ( $\mu\text{A}$ )	"	"	"	1.9	"	"	"	9	12

(注) 針：平板電極、塩化ビニールフィルムそう入（直径 58 mm）、沿面火花電圧 8.7 kV

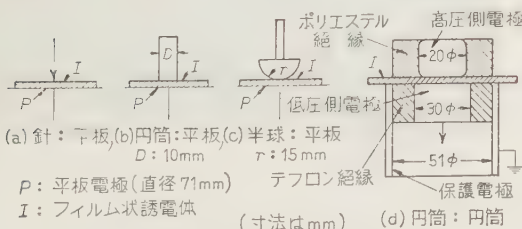
微小エアギャップおよび試料を積層したときの試料間エアギャップを対象としたものである。以下これらの結果を総合して述べる。

(a) 電流の極性効果 第 6 図に示す電極構成において、(b), (c), (d) 電極構成はもちろん、(a) のような極端な電極の非対称性にもかかわらず、誘電体が電極間にそう入されると、第 3 表にその一例を示すように正負両極性電流の絶対値は非常に類似したものとなる。しかるに一方誘電体をそう入せず、12.5 mm のエアギャップをもった針対平板電極構成では、第 7 図に示すように相当大きな極性効果を与える。誘電体がそう入された針対平板電極系では、約 1 kV 付近より電流波形に相当なコロナパルスが認められる。すなわち誘電体の介入で、沿面コロナ放電開始後、正負空間電荷が誘電体表面に蓄積され針電極近傍の電界が緩和され、極性効果を顕著に示さなくなるものと考えられる。



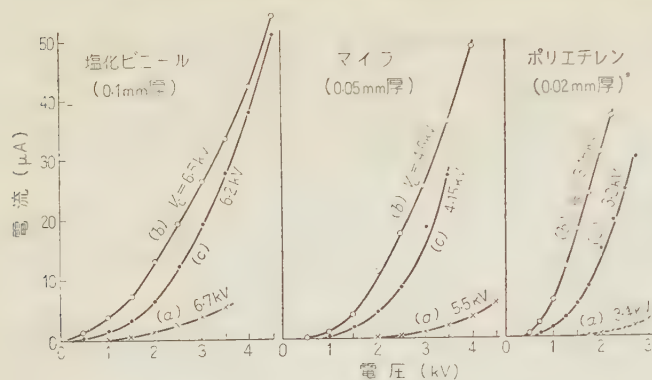
第 7 図 大気中針対平板エアギャップにおける極性効果

(b) 電圧-電流特性の形状 第 8 図は第 6 図の電極構成中、沿面放電を伴う場合〔同図中 (a), (b), (c)〕についての電圧-電流特性を 3 種類の誘電体について示す。各円板状フィルム試料の直径は 45 mm のもので、誘電体によってその厚さが異なるため、直接比較はできないが、針電極系が同一電圧でもっとも少ない電流値を与え、かつ各電極系に対する傾向は誘電体の差異によりあまり変化しない。ただしもっとも薄いポリエチレンの場合は他の 2 者と異なり、沿面火花放電以前に試料の貫通破壊を生じた。このような電極構成に対してその電圧-電流特性をみると、いずれも電圧上昇に対して電流はスムーズに増加し、前述の撤去



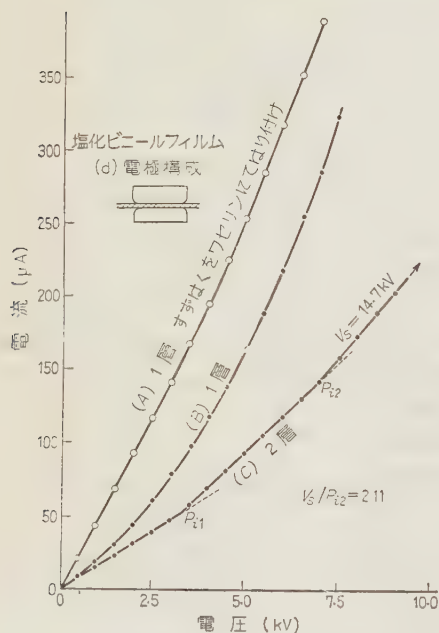
第 6 図 各種電極構造





$V_a$ : 沿面火花電圧,  $V_b$ : 貫通破壊電圧, 電極構成 (a), (b), (c) は第6図参照, 試料直径 45 mm

第8図 各種電極構成と電圧-電流特性



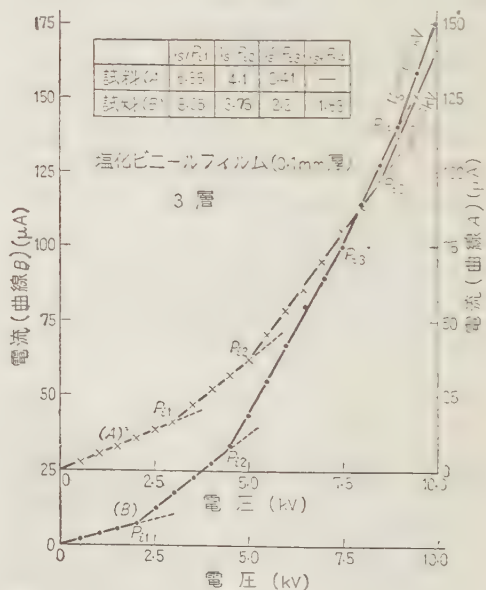
第9図 第6図(d)の電極構成と電圧-電流特性 (誘電体積重ねの効果)

コイルの電圧-電流特性におけるように、比較的明らかな  $P_{11}$ ,  $P_{12}$  などの電流急増点を確定することはむずかしい。以上から、沿面放電は電圧-電流特性における非直線性の一因であるが、電流急増点を明らかに与える原因と考えることは適当でない。沿面放電を防止した第6図中(d)電極構成における電圧-電流特性を第9図に示す。図中(B)曲線は、塩化ビニールフィルム1枚を上下両電極間にごく自然にそう入した場合を示し、電流は非直線的に増大するが、第8図の場合と同様、電流はスムーズに上昇し、電流急増点

を確定できない。曲線(A)は1枚のフィルム試料の両面に少量のワセリンをもって薄いすずはくを貼り電極との接触を良好にした場合で、電流値は同一試料の(B)曲線よりさらに増加するとともに測定電圧範囲内で直線性が非常に改善される。また同図中曲線(C)は、試料をごく自然に2枚重ねた場合を示す。このように積層すると撤去コイルと同様に図に示される程度の明りょう度をもって各電流急増点を確定することができ、かつ破壊電圧  $V_b$  と  $P_{12}$  との比は 2.11 を与えた。上記の傾向はマイラフィルムの場合も同様であって、2層にして  $P_{12}$  の現われた

ときの  $V_b$  との比は2回の試験でおおの 2.45 および 2.54 であった。以上の実験結果から電流の非直線性および電流急増点の出現に対して、電極間および試料間の接触が問題となりそうなのがわかったので、さらに試料を3層にしてこの間の状況を調べたのが第10図である。図中曲線(A), (B)は同一条件で破壊電圧の異なる二つの実験結果を示したもので、

(試料はごく自然に3枚重ねて電極間にそう入) ともに3層にすると  $P_{11}$ ,  $P_{12}$  などは、2層の場合にくらべてその明りょう度を増す傾向がある。2回の実験中、破壊電圧の高いものほど、各急増点は高圧側に位

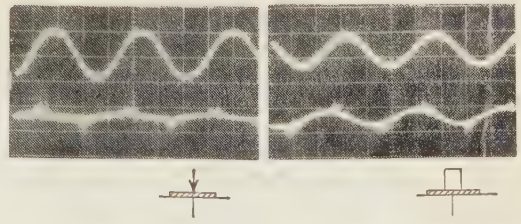


第10図 電圧-電流特性 (フィルム3層積重ね)

置する。しかしこのときの各急増点と破壊電圧の比は図中の表に示すようになり、 $V_0/P_{12}$  の比は必ずしも撤去コイルの場合と一致しない。すなわち (1) 式で示される  $V_0$  と  $P_0$  との関係が絶縁構成によって変化することは注意すべき事実である。またごく薄く、密着性のよいポリエチレンフィルム (0.02 mm) の場合は、これを積層しても電流急増点は前記 2 者のように明りょうに現われなかった。これは試料間あるいは電極との接触条件が異なるためと考えられる。

(3.3) 電圧-電流波形 前章までに交流電流法における電圧-電流特性について種々述べたが、以下これらと電流急増点と、関連について述べる。

第 11 図は撤去コイルの電圧-電流波形の一例を示したもので、第 1 電流急増点  $P_{11}$  付近の電圧から次第に電流波形にコーナパルスが電圧を含み、電流はこの部分でよく丸みを示すようになり、波形は次第に変わいてくることわかる。また電圧の位相は、電圧に対して大体  $\pi/2$  進んでいる進み電流である。第 12 図は第 6 図 d で示される沿面放電を施した電極系の結果を示し、同図 (a) は単層試料で両面にすずはくを



(a) 塩化ビニールフィルム  
(電圧 1.5 kV)

(b) 塩化ビニールフィルム  
(電圧 1 kV)

第 13 図 沿面放電を生ずる電極構成と  
電圧-電流波形

貼り、電極との接触をよくした場合で、(b) は 2 層試料の場合を示し、両者で電界強度はほぼ等しい所での波形である。後者では相当な放電波形が重ね合わさっているが、前者は比較的波形の変わいが少ない。第 13 図はともにはげしい沿面放電を伴う場合で、針電極では電流波形中にきわめて大きい放電パルスが重ね合わさっている。しかしともに主要電流成分はほぼ電圧に対して  $\pi/2$  進んだ位相にある。

#### 4. 実験結果の考察

前章までに得られた種々の実験結果を、電圧-電流特性の形式および電流急増点の出現について要約すると次のごとくである。

(1) マイカ紙および絶縁布を基材とした発電機コイルはもちろん、各種の高分子フィルム誘電体を用いても、一般に積層した絶縁構成で比較的明りょうな電流急増点を与える。かつその急増点出現の明りょう度は、誘電体の材質よりもその接触条件と密接に関連する。

(2) 沿面放電の存在は電流の非直線性の一因であるが、電流急増点の出現に対する主要原因ではない。

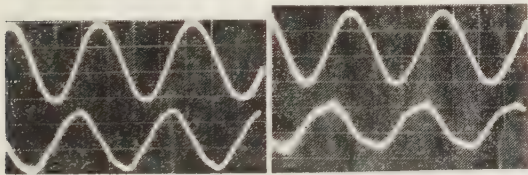
(3) 積層数が増えると電流急増点の明りょう度は上昇するが、各急増点と破壊電圧との比は常に一定でなく、絶縁構成によって変化する。

(4) 電流波形は放電パルスを重ね合わせたもので、電圧上昇とともに次第に変わいし、電圧に対しは  $\pi/2$  進んだ位相にある。

(5) 電極との接触を良好にした単層絶縁構成では電圧-電流特性の非直線性が緩和され、電流波形の変わいも少ない。

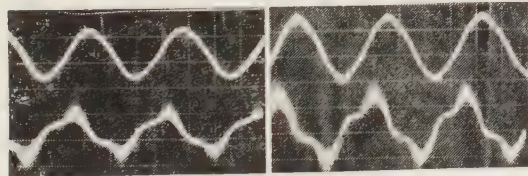
(6) 直流電圧印加の電流は交流電流にくらべてきわめて少ない。

以上の諸結果から、交流電流法における電圧-電流特性の非直線性は、固体誘電体と空気との複合誘電体構成における空気層 (ボイド) の放電開始に伴う見



(a) 電圧 2.5 kV  $< P_{11}$

(b) 電圧 4.5 kV  $P_{11}$   
(=3.9 kV)

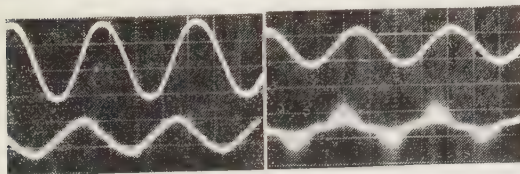


(c) 電圧 6 kV ( $P_{11}$   
 $\sim P_{12} = 7$  kV)

(d) 電圧 8 kV  $> P_{12}$

上側: 電圧, 下側: 電流

第 11 図 撤去発電機コイルの電圧-電流波形



(a) 塩化ビニールフィルム  
(すずはく貼り)  
(電圧 2.5 kV)

(b) 塩化ビニール  
フィルム 2 層  
(電圧 4.5 kV)

第 12 図 第 6 図 (d) の電極構成による  
電圧-電流波形



掛け上の誘電率および誘電正接 ( $\tan \delta$ ) の増大に基因することは明らかで、この空気層の存在状態がその電圧-電流特性の形式に差異を与えているものであることが判明する。以下これらの事実を基礎として空気層の状態と電圧-電流特性の形式について考察する。

(4.1) 空気層を含む絶縁構成における電流急増点出現の条件 まず電流急増点が第1図および種々の実験結果に示されるように、比較的明りょうに確定できるということは、 $0 \sim P_{i1}$ ,  $P_{i1} \sim P_{i2}$ ,  $P_{i2} \sim P_{i3}$ , ... などの各電圧範囲で、各電流値は一つの直線で示され、この間では急増を示さないことである。これは一般に交流電圧-電流の式が次式で与えられるとすれば、式中の等価静電容量  $C$  および等価誘電正接  $\tan \delta$  が各電圧範囲で一定であること、すなわち電圧依存性を示してはならないことを意味する。

$$I \approx \omega CV(1 + 1/2 \tan^2 \delta) \dots \dots \dots (2)$$

$I$ : 電流,  $\omega = 2\pi f$  ( $f$ : 周波数),  $V$ : 電圧

一般に空気層における放電を伴う場合の等価静電容量および  $\tan \delta$  の解析は多くの研究者により、その理論的取り扱いが示されてきた。<sup>(9),(10)</sup>特に池田、堀井両氏による解析で与えられた、ボイド放電による充電電流波形<sup>(10)</sup>と前述の実験の電流波形は比較的類似している。したがってここでは両氏による理論式を用いて考察を進める。両氏により指摘されたように、ボイド放電を含む等価静電容量および  $\tan \delta$  は、エアギャップの形態およびその分布と密接に関係する。

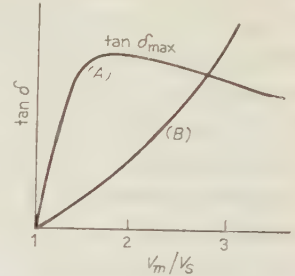
一般に、一様なボイドが均一に分布している場合、ボイドの放電開始電圧以上の電圧が印加されたときの等価静電容量  $C$  および  $\tan \delta$  は、両氏にしたがえば次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} C &= 1/2 \cdot (C_1 + C_0) \\ (\text{ボイド含有率 } 10\% \text{ 以下の場合}) \\ \tan \delta &\approx \frac{2}{\pi} \cdot \frac{C_1 - C_0}{C_1 + C_0} \left\{ 1 - \left( \frac{2V_s}{V_m} - 1 \right)^2 \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$C_1, C_0$ : ボイド放電中および休止中の静電容量 (幾何学的静電容量, 誘電体の誘電率およびボイド含有率で決まる),  $V_s$ : ボイド放電開始電圧,  $V_m$ : 印加交流電圧 (最大値)

$C$  は厳密には電圧依存性を示すが、ボイド含有率が10%以下ならば(2)式に示すように無視できる。一方  $\tan \delta$  は第14図中の曲線(A)に示されるように電圧とともに変化するが、印加電圧が  $V_s$  に達した後急激に増大し  $2V_s$  で最大値に達し、その後徐々に減少する傾向を示す。かつ  $\tan \delta$  の値は数パーセント程度で、(2)式中の  $\tan^2 \delta$  は1にくらべて相当に小さい。

したがってこの場合  $\tan \delta$  の電圧に対する変化が電流に与える割合は少ないことが想像される。すなわち放電開始電圧のそろった均一なボイドを含有する場合は、ある電圧



(A): ボイド形状一定  
(B): ボイド形状不均一

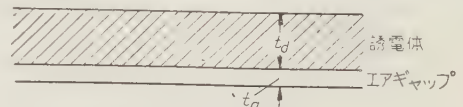
第14図 ボイド放電の電圧- $\tan \delta$  特性

にも(2)式を合計したものとなり、かつ  $\tan \delta$  も第14図曲線(B)で示すように電圧とともに次第に上昇する。すなわちこの場合には、電流急増点を明りょうに決定することはむずかしくなることが判明する。以上のことから、一般に撤去コイルなどの場合の絶縁構成へのエアギャップの介入状態は複雑なものと思われるが、その電圧-電流特性で比較的明りょうに電流急増点が現われる事実は、これら機器絶縁に対するエアギャップの介入状態が、その各電流急増点の電圧に相当した放電開始電圧をもつ数個の形に分けられ、比較的一定の形にはまっているものと推定される。実験に使用した撤去コイルでは、触感あるいは絶縁層の切断面を観察すると、ある程度エアギャップを電圧部分および積層誘電体の間に認めることはできる。一般にその形状を厳密に規定することはむずかしいが、近似的に第15図に示すように平行エアギャップと考えれば、この構成におけるエアギャップの放電開始電圧  $V_p$  は ( $P_{i1}$  に相当)

$$V_p = V_a(1 + t_d/\epsilon_d \cdot t_a) \dots \dots \dots (4)$$

$V_a$ : エアギャップ(厚さ  $t_a$ )の火花放電電圧,  
 $\epsilon_d$ : 固体誘電体の誘電率

となる。 $V_a$  に対し Paschen の法則を適用し、 $V_p$  と  $t_a$  との関係を、 $t_d/\epsilon_d$  をパラメータとして求めると、ある  $t_a$  で  $V_p$  の最小値を与える。<sup>(11)</sup>実験に使用した撤去コイルおよびその実験結果から、 $t_d \approx 2.5 \sim 3 \text{ mm}$ ,  $\epsilon_d \approx 5$ ,  $V_s \approx 4 \text{ kV eff}$  とすると、第1電流急増点  $P_{i1}$



第15図 平行エアギャップ

で最初に放電を開始するエアギャップの大きさは、第1表の  $P_{11}$  の各値を参考にとすると大体 0.2~0.4 mm 程度となる。またこの値は  $V_p-t_a$  曲線のほぼ最小値付近であるので、これ以上の電圧たとえば  $P_{12}$  で放電を開始するエアギャップは、最初に放電したエアギャップより小さいか、大きいかの2とおりとなるが、どちらかはそのときの誘電体に対するエアギャップの存在状態によって決定される。しかし、発電機コイルの場合、ほぼ同様な絶縁構成をもつ新品コイルの電流急増点が比較的高圧側に現われること<sup>(6)</sup>から、一般に急増点の低いことは大きいエアギャップの存在を意味していると考えほうが妥当である。すなわち、第1表の撤去コイルについての結果で、各電流急増点からエアギャップ寸法の絶対値を算出することは、(4)式自身が理想化した場合の式なのであまり意味をたないと思うが、少なくとも上記考察の結果として、相対的に急増点の低いものは大きいエアギャップの存在を意味することは重要である。前述のように、これら電圧-電流特性の形状は、エアギャップの形状ならびにその存在状態と関係するもので、その発生の原因はわからないが、撤去コイルのように長期間の使用により含浸樹脂類の硬化、絶縁層の膨張、収縮などの劣化を起している場合には、これらが導体との接触面あるいは積層物間にエアギャップ発生の原因となっていると考えられる。しかし具体的に各電流急増点がどのエアギャップに対応するかを決定することは、いままでの実験のみからではむずかしい問題である。

(4.2) 微小エアギャップを含む絶縁構成における短時間破壊電圧と電流急増点 一般に固体誘電体の絶縁破壊電圧を決定する要素は多く、現在まで種々の破壊機構が考えられているが、<sup>(9)</sup> 特に実用機器の絶縁構成は複雑で、その破壊形式を一概に論ずることはできない。しかし前述の種々の実験結果および考察からここで問題としているような絶縁構成における絶縁破壊電圧は微小エアギャップの存在によって相当に影響をうけているものと考えなければならない。このエアギャップ中での放電が、全路破壊におよぼす直接的要因としては、微小エアギャップの放電に基づく電界のじょう乱 (Mason 氏<sup>(12)</sup>) により指摘されているようにエアギャップ中のコロナ放電の放電柱が針電極のように作用し、局部電界を強める)、局部的温度上昇あるいはコロナ浸食作用などがあるが、いずれも絶縁破壊電圧を低下する方向に働く。また間接的要因として、撤去コイルなどに対して微小エアギャップの発生は、絶縁構成の劣化と関連し、誘電体自身の破壊電圧の低下を意味する。一般に実験事実として第1表に示すよ

うに電流急増点の低いものほど絶縁破壊電圧は低い値を示す。これは電流急増点の高いものにくらべて、同一電圧では単位時間中のコロナの発生ひん度が増加することおよびより大きいエアギャップの発生は劣化の進展を意味することを考えれば、一応定性的にこれらの相関を説明することができる。

このように電流急増点の低いこと、すなわち相対的に大きいエアギャップを有するものが破壊電圧を下げる原因はいくつか考えられるが、どれが主要な原因であるかは後の研究にまたなければならない。さらにここで注意すべきは、各急増点と破壊電圧との比は、第10図に指摘したように、絶縁構成によって変化し、常に一定したものでないことで、これはエアギャップ中での放電の破壊におよぼす効果は絶縁構成によってその程度が異なることを示す。

目下、各種のエアギャップを人為的に設定した模型コイルを作成し、前述の実験事実の定量的関係ならびに各種の模型実験と実用機器絶縁で生ずる諸現象との間の相関について研究を進めている。

## 5. 結 言

最近、機器絶縁の非破壊的絶縁診断法の確立は多くの注目を集め、種々の絶縁試験法が提案されてきた。

本論文は、これらのうち、交流電流法の電圧-電流特性ならびに電流急増点と破壊電圧の相関性に対して種々の吟味実験ならびに考察を行ったものである。

一般に交流電流法の電圧-電流特性は非直線性を与えるが、その形態は絶縁構成によって変化し、一般に積層した絶縁構成において、電圧-電流特性は数少ない屈折線を与え、電流急増点が確定しやすいことを実験的に明らかにし、さらにこれらに対する誘電体の種類および各種電極構造の影響を調べ、電流急増点の出現の明りょう度が沿面放電とか誘電体の材質より、むしろそれらの電極との境界あるいは積層間の接触条件に依存することを明らかにした。以上の諸結果ならびに電圧-電流波形の解析、直流電圧-電流特性などの結果から、交流電圧-電流特性の非直線性が、微小エアギャップを含む絶縁構成におけるボイド放電を主体とすることを指摘し、ボイド放電に関する理論を適用して、電圧-電流特性とエアギャップの存在状態との関係を考察し、明りょうな電流急増点を示す原因を明らかにした。また各電流急増点の電圧と絶縁破壊電圧との相関に関して定性的説明を行ったが、これらの詳細については不明で、今後さらに検討すべきであるが、各電流急増点と破壊電圧との比が、絶縁構成で変化することは注意すべきである。



以上の諸結果ならびに考察は交流電流法の電圧-電流特性の解析および劣化状態の推定に有益であると思いが、特に交流電流法による破壊電圧の推定に対しては、絶縁構成によって常に電圧-電流特性は一定の形を示さず、電流が電圧に対してスムーズに上昇し、明りょうな電流急増点を示さない場合の一般的な取扱法などに関して、理論的にも実験的にも今後検討すべき問題が多く残されているように思う。本論文がこの方法による破壊電圧の推定の一般化ならびに今後の運用、改善に対し役立てば幸である。

終りに、終始ご指導を賜った本学篠原卯吉教授、一部実験試料の提供をうけた中部電力工務部ならびに同試験所、種々ご討論下さった中部電力主催絶縁劣化専門部会の諸氏、ならびに卒業研究の一部として本研究に協力された卒業研究学生岩井晋君、伊藤茂君に深く感謝する次第である。(昭和 35 年 5 月 25 日受付、

同 8 月 12 日再受付)

## 文 献

- (1) 回転機絶縁試験法委員会編：発電機線輪絶縁試験法 (昭 33-6) (電気書院)
- (2) A. W. W. Cameron: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **71**, Pt. III, 263 (1952)
- (3) J. S. Johnson & A. W. Zwiner: Pwr Apparatus and Syst. No. 31, 416 (1957)
- (4) R. T. Rushall & J. S. Simons: Proc. Instn Elect. Engrs **102**, Pt. A, 565 (1955)
- (5) C. L. Sidway & B. R. Loxley: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **72**, Pt. III, 1121 (1953)
- (6) 中部電力工務部：電力中央研主催，絶縁劣化専門部会資料 No. 12-2 (昭 35-3)
- (7) 電研機器研究室：同上 No. 12-1 (昭 35-3)
- (8) 山中・吹田：電学誌 **77**, 1433 (昭 32)
- (9) S. Whitehead: Dielectric Breakdown of Solid (1950) (Oxford)
- (10) 池田・堀井：電学誌 **75**, 111 (昭 30)
- (11) 池田・堀井：電学誌 **78**, 1213 (昭 33)
- (12) J. H. Mason: Proc. Instn Elect. Engrs **102**, Pt. C, 254 (1955)

UDC 621.375.3: 681.142

## 磁気増幅器式電流相似形演算器\*

## (演算形磁気増幅器)

資料・論文

35-114

正員 黒 川 一 夫†

## 1. 緒 言

これまで、演算増幅器としては電子管式<sup>(1)</sup>のものが大部分で、トランジスタ式<sup>(2)</sup>のものが実験的に用いられているのが現状である。しかるにこれらの増幅素子は脆弱で長期間にわたって安定な動作を期待しがたく、いわゆるドリフトも大であるうえ、取り扱いうる電力も小さなものに限定されるため、もっぱら計算機用演算増幅器として用いられ、制御用演算器としてはごく限られた範囲にのみ使用されていた。

一方磁気増幅器はじょうぶで長期間安定に動作し、大なる出力電力を取り扱いうる特徴を有しているが、増幅器として電子管やトランジスタよりも扱いにくい欠点があるため、磁気増幅器式演算増幅器の要望があるにもかかわらず、これを実現した例が少なかった。

本論文は電流相似形に磁気増幅器を構成することにより、磁気増幅器式演算器の困難性が解決され、負荷の種類、電圧電流などにあまり影響されず、任意の演算を行うことが可能となることを示している。

本文では、演算器の動作を理解し基礎的な解析を行うに必要な磁気増幅器の増幅特性について新しい表示法を提案し、3定数(電流増幅率 $\mu_a$ 、相互抵抗 $R_m$ および内部抵抗 $r_a$ )によりその特性が表わしうることを実験的に確かめ、この結果を用いて現在アナログ計算機の増幅器の構成要素である増幅器、積分器および微分器について検討および実験を進め、磁気増幅器式演算器の基礎的な事項を検討したものである。

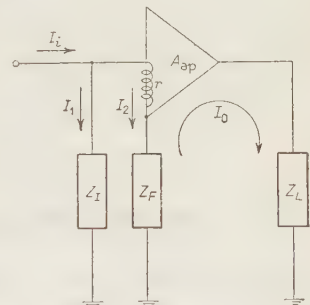
## 2. 電流相似形演算器

磁気増幅器の基本動作は電流増幅器である。一般に電流増幅器としては、入力インピーダンスが低く、出力インピーダンスが充分大きなことが要求されるが、磁気増幅器では入力インピーダンスが必ずしも低くないうえ、大なる誘導性成分を有し、出力インピーダンスは低く、負荷インピーダンス、電源電圧の影響を直

接出力電流に受けてしまう。したがってエネルギーの流れが一方方向でなく、種々の干渉があるということを見無視しても電流増幅器として非常に取り扱いにくいもので、特に磁気増幅器間の結合が容易でないことがわかる。これに対してこれから述べる電流相似形演算器に構成された磁気増幅器は入力インピーダンスがほとんど純抵抗となり、出力インピーダンスは非常に大きな値となるため、負荷の種類による特性の変化をほとんど受けない

うえ、増幅器どうしを結合した場合でも後段からのもどりを抑圧し計算値に近い出力が安定に得られる。

以下にその動作原理を簡単に述べる。



第1図 電流相似形演算器  
動作原理図

第1図に電流相似形演算器の動作原理を示す。図中 $Z_I$ は入力インピーダンス、 $Z_F$ は帰還インピーダンス、 $Z_L$ は負荷インピーダンス、 $A_{ap}$ は磁気増幅器式演算増幅器の電流増幅率で $r$ は磁気増幅器制御巻線の抵抗である。この回路にキルヒホッフの法則を適用して次式を得る。

$$I_1 + I_2 = I_i \dots \dots \dots (1)$$

$$I_1 Z_I - I_2 (r + Z_F) = -I_0 Z_F \dots \dots \dots (2)$$

$$I_2 = -\frac{I_0}{A_{ap}} \dots \dots \dots (3)$$

(1)~(3) 式より  $I_1$  および  $I_2$  を消去して

$$I_0 = -\frac{1}{1 + \frac{1}{A_{ap}} \left( 1 + \frac{Z_I}{Z_F} + \frac{r}{Z_F} \right)} \frac{Z_I}{Z_F} I_i \dots \dots \dots (4)$$

なる基本式を得る。 $A_{ap}$  が充分大であれば(4)式はさらに

$$-I_0 \approx (Z_I / Z_F) I_i \dots \dots \dots (5)$$

\* Operational Magnetical Amplifier. By K. KUROKAWA, Member (Electrotechnical Laboratory).

† 電気試験所機器部, 自動制御制御演算器研究室



と書き換えられる。これが理想演算式である。

演算器の誤差は (5) 式の理想演算からのずれと考えれば誤差率 ( $\varepsilon$ ) は

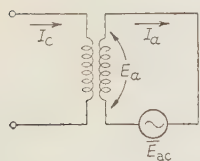
$$\varepsilon \approx -\frac{1}{A_{ap}} \left( 1 + \frac{Z_I}{Z_F} + \frac{r}{Z_F} \right) \times 100 (\%) \dots (6)$$

で与えられる。(4) 式および (6) 式より磁気増幅器制御巻線の抵抗はあたかも電圧相似形の入力漏れ抵抗と同様な形で作用し、電流相似形では  $r$  の小さいほど誤差は減ずる。<sup>\*</sup>(3),(4)

演算増幅器の電流増幅度  $A_{ap}$  は負荷、入力、帰還の各インピーダンスなど磁気増幅器の負荷となるもので異なるが、このために出力電流の受ける変化は (6) 式で与えられる誤差分だけで、通常小さなものとなる。しかしながら演算器としての確度は  $A_{ap}$  により決定されるもので、磁気増幅器式演算器を構成する場合のもっとも基礎的な量となるものであるが、磁気増幅器は電子管またはトランジスタ回路におけるような簡単な取り扱いができず、独特な方法によって整理されてきていた。これでは演算増幅器としての解析が困難なため、演算器に適した新しい特性の表示法を以下に述べる。

### 3. 磁気増幅器の特性表示法

磁気増幅器の特性表示を行うため、整流器とか回路



第 2 図 磁気増幅器  
入出力の関係図  
(無負荷)

$$I_a = f(I_c, E_a) \dots (7)$$

で表わされる。ここで  $I_c$  と  $E_a$  に対してわずかな変化だけを問題として、増幅特性曲線の一部を使用するものとするれば、(7) 式を微分して

$$dI_a = \left( \frac{\partial f}{\partial I_c} \right) dI_c + \left( \frac{\partial f}{\partial E_a} \right) dE_a \dots (8)$$

を得る。いま

$$\left. \begin{aligned} \left( \frac{\partial I_a}{\partial I_c} \right)_{E_a=\text{const}} &= \mu_a; \text{電流増幅率} \\ \left( \frac{\partial I_a}{\partial E_a} \right)_{I_c=\text{const}} &= \frac{1}{r_a}; r_a \text{ は内部抵抗} \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

とすると

$$\mu_a r_a = \left( \frac{\partial E_a}{\partial I_c} \right)_{I_a=\text{const}} = R_m; \text{相互抵抗} \dots (10)$$

の関係をj得る。(9) 式を (8) 式に代入すれば次の基本式が与えられる。

$$dI_a = \mu_a dI_c + \frac{1}{r_a} dE_a \dots (11)$$

以上、磁気増幅器を増幅器という立場から整理すれば真空管と同様、基本的な3定数により特性が表示されることになる。

次にこの結果を負帰還形電流相似形演算器の基礎となるA級増幅回路にj用してjみる。いま負荷として抵抗を使用すると第2図の回路は第3図となり、入力電流の変化  $dI_c$  は増幅されて、出力回路の電流変化  $dI_a$  を生ずるが、負荷抵抗の両端に  $dE_L$  の電圧降下を起す、出力回路の各平均値の間には

$$E_a = \bar{E}_{ac} - I_a R_L \dots (12)$$

の関係があるが、電源電圧の平均値  $\bar{E}_{ac}$  は一定であるから変化分を考えると

$$dE_a = -R_L dI_a \dots (13)$$

となる。これを (11) 式に代入して整理すると

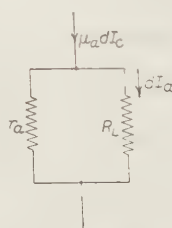
$$dE_a = -R_L dI_a \dots (13)$$

となる。これを (11) 式に代入して整理すると

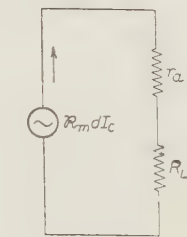
$$dI_a = \frac{r_a}{R_L + r_a} \mu_a dI_c \dots (14)$$

となり、第4図に示すように  $\mu_a dI_c$  の定電流源があり、これを  $r_a$  と  $R_L$  とで分流している等価回路で代表される。また (14) 式を (10) 式を用いて書き換えると

$$dI_a = \frac{1}{R_L + r_a} R_m dI_c \dots (15)$$



第 4 図 定電流形  
等価回路



第 5 図 定電圧形  
等価回路

\* 磁気増幅器の入力巻線抵抗 ( $r$ ) はインピーダンス ( $Z$ ) として取り扱うのが正しい。そして負帰還の結果、その効果が  $A_{ap}$  分の1になることは (4) 式より直ちに理解される。しかし、ここでは演算周波数が低く、定常状態に近い周波数範囲を扱うためリアクタンス分を無視するものとする。

となって  $R_m dI_c$  の定電圧源を表わし第5図の等価回路となる。これより電流増幅度 ( $A_a$ ) は

$$A_a = \frac{dI_a}{dI_c} = \frac{R_m}{R_L + r_a} \quad (16)$$

また  $dE_a/dI_c$  を相互増幅度 ( $A_m$ ) と呼ぶことにすれば  $A_m$  は (17) 式となる。

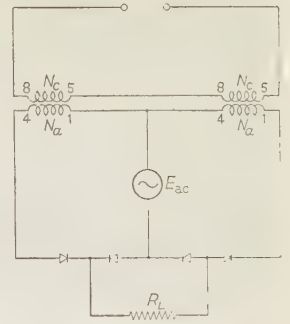
$$A_m = \frac{dE_a}{dI_c} = \frac{R_L}{R_L + r_a} R_m \quad (17)$$

#### 4. 実験による検討

磁気増幅器で演算増幅器を構成する場合、すでに (4), (6) 式で明らかにしたように電流増幅度がかなり大きなことが要求される。そのため磁気増幅器を多段にして増幅度をあげることがまず考えられるが、2段以上で構成された場合終段の負荷には初段の制御巻線が含まれるため、三次遅れ以上となり、演算器として負荷運を行うと発振を生じやすく安定に動作させることが困難である。しかるに1段で構成されたときは自己の制御巻線が負荷にはいっても二次遅れであるため、演算器は安定に動作する。そのため1段でできるだけ増幅度が取れるものが要求されるので、センバーマックス鉄心を用いて実験を進めた。

演算用磁気増幅器としては直流出力で高い増幅度が得られれば、現在普通に用いられている回路を使用することが可能であるが、ここでは直流出力を簡単に取り出せること、リアクタンス負荷による特性の変化が少なく、回路構成も簡単であるなどの理由から全波ブリッジ接続を選び、第1表の仕様の磁気増幅器を使用した。第6図は全波ブリッジの接続図で第7図は交流電源電圧を 20 V(rms) 一定にし負荷抵抗をパラメータとした場合の入力電流と出力電圧との関係を示したもので、各曲線は相似的な変化をしている。まずこの負荷抵抗のある場合の結果から前章に導いた関係が成立するかどうかを検討することにする。その理由は前記3定数のうち  $r_a$  および  $R_m$  は原理上、負荷抵抗を零とした短絡状態で電源電圧を変化させることにより

求められるものであるが、真空管と違って電源電圧を大幅に変化させると整流器および鉄心などの電圧配分が変わり使用状態とだいぶ異なる動作をすることが考えられるからである。いま第5図の等価回路がなりた



第6図 全波ブリッジ回路

つものとすれば、負荷抵抗  $R_{L1}$  における入力電流の変化  $\Delta I_{c1}$  と出力電圧の変化  $\Delta E_{L1}$  の間には

$$\Delta E_{L1} = \frac{R_{L1}}{r_a + R_{L1}} R_m \Delta I_{c1} \quad (18)$$

また同様に負荷抵抗  $R_{L2}$  に対しては

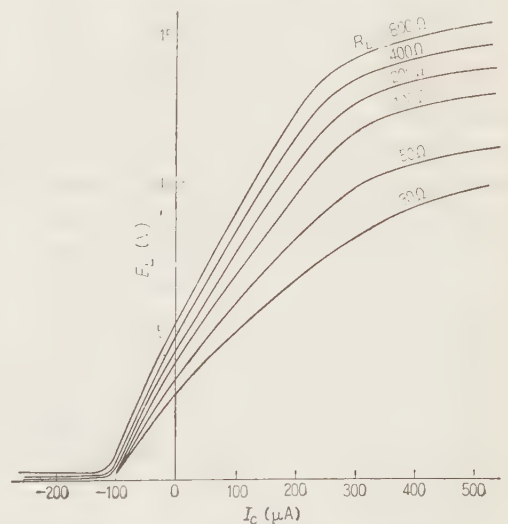
$$\Delta E_{L2} = \frac{R_{L2}}{r_a + R_{L2}} R_m \Delta I_{c2} \quad (19)$$

の関係がある。ここで  $\Delta I_{c1} = \Delta I_{c2} = \Delta I_c$  の条件より

$$r_a = \frac{R_{L1} R_{L2} (\Delta E_{L2} - \Delta E_{L1})}{R_{L2} \Delta E_{L1} - R_{L1} \Delta E_{L2}} \quad (20)$$

$$R_m = \frac{r_a + R_{L1}}{R_{L1}} \frac{\Delta E_{L1}}{\Delta I_c} \quad (21)$$

と表わしうる。(20), (21) 式を第7図の  $R_{L1} = 50 \Omega$  および  $R_{L2} = 100 \Omega$  の場合に適用して、増幅特性の直線部分における内部抵抗  $r_a$  を求めると第8図になる。これより  $r_a$  は制御電流の大きさに関係なく測定上のばらつきはあるが 20~25  $\Omega$  の範囲にある。

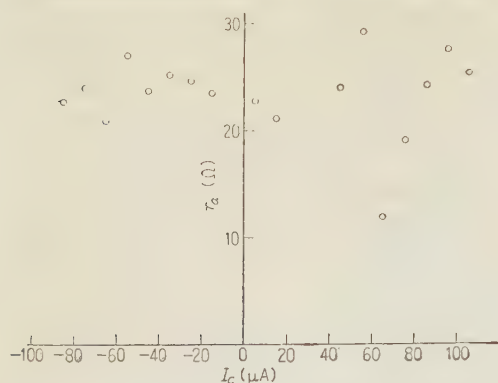
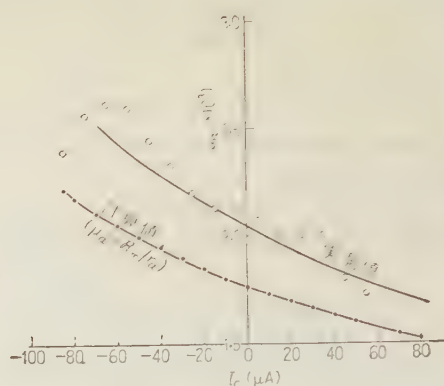
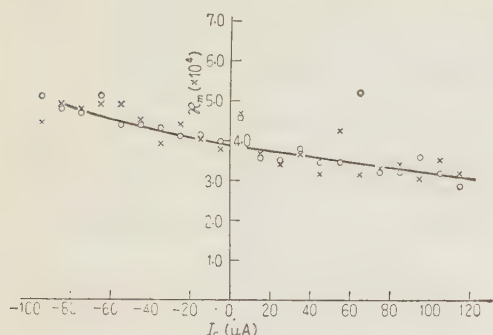


第7図 全波ブリッジ回路の増幅特性

第1表

使用鉄心	センバーマックス(ケース入)
鉄心寸法	0.05×10×60×80
巻線(0.5φ)	
出力巻線	(1)-(2) 1,000 T 5.4(Ω)
"	(3)-(4) " 6.5(Ω)
制御巻線	(5)-(6) " 7.7(Ω)
"	(7)-(8) 800 T 7.4(Ω)
補助巻線	(9)-(10) 30 T 0.38(Ω)
"	(11)-(12) 100 T 1.10(Ω)

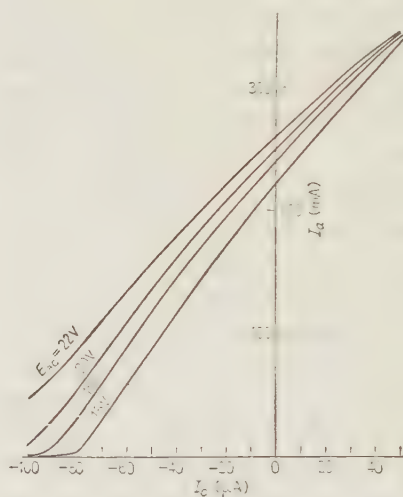


第 8 図  $r_a$ - $I_c$  図第 10 図  $\mu_a$ - $I_c$  図第 9 図  $R_m$ - $I_c$  図

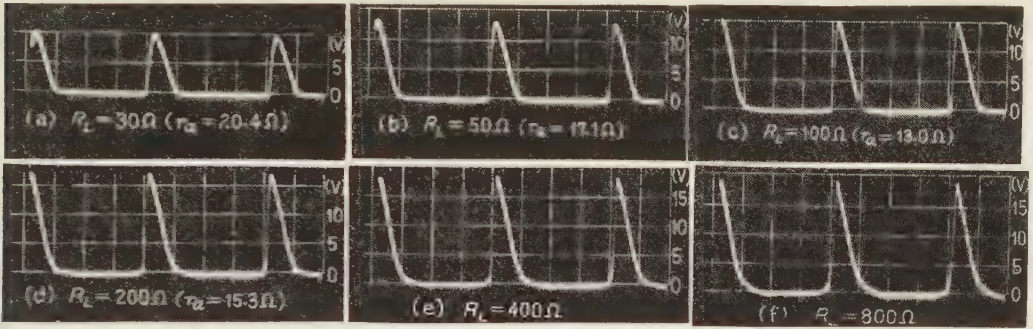
$r_a$  が一定であれば相互抵抗 ( $R_m$ ) は (21) 式より簡単に求められる。第 9 図は  $r_a = 22 \Omega$  として算出した  $R_m$  で  $\circ$  印は  $R_L$  が  $50 \Omega$ ,  $\times$  印が  $100 \Omega$  のときで両者は実用上だいたい一致しているとみられる。

以上で  $r_a$  と  $R_m$  が求められたが、これらがわかると電流増幅率 ( $\mu_a$ ) は (10) 式より得られる。第 10 図の曲線のうち計算値とあるのがこれである。一方、 $\mu_a$  は (9) 式の定義により  $E_a$  を一定にし負荷抵抗を短絡したときの出力電流変化と制御電流変化との比で規定されるものであるから、第 6 図の  $R_L$  を短絡して入出力電流の関係を測定することにより、もし負荷短絡により整流器、リアクトルなどの電圧配分が変わらなければ、直接測定しうるものである。第 11 図は電源電圧をパラメータとし無負荷特性を求めたもので、この  $E_{ac} = 20 \text{ V}$  の曲線より求めた  $\mu_a$  は第 10 図の実測値で与えられている曲線である。この結果実測値と計算値とは 1 割程度の差で一致していて電圧配分などの問題もなく、 $E_{ac} = 20 \text{ V}$  程度の場合には定義どおりの測定が可能であることがわかる。

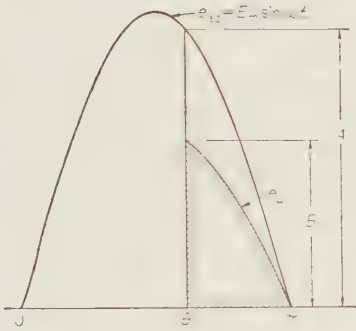
次に内部抵抗  $r_a$  の意味を検討する。これは磁気増幅器の接続方式により異なり、たとえば理想的な可飽

第 11 図 無負荷特性 ( $I_a$ - $I_c$  図)

和リアクトルでは、 $\delta E_a$  に対して  $\delta I_a$  は零であるから  $r_a$  は無限大で、制御電流が一定で、負荷抵抗が変わるときは、平均出力電流が一定になるよう飽和角が変化する。ここに示した自己帰還形の例では第 7 図より負荷抵抗変化により飽和角は移動せず一定となっていて、 $r_a$  は出力巻線および整流器順方向抵抗などにより構成されているため、制御電流によらず一定となり比較的小さな値であることが推測される。これを確かめるため一定電源電圧および制御電流のもとで  $R_L$  を変化させて以上の関係を調べた結果、飽和角は一定であることがわかった。第 12 図はこの一例を示したもので、 $E_{ac} = 20 \text{ V}$ ,  $I_c = -50 \mu\text{A}$  一定で  $R_L$  を種々に変えた場合の出力電圧波形で、 $R_L$  が  $30 \sim 800 \Omega$  の範囲で飽和角はほぼ一定に保たれている。飽和角が制御電流で決定されることがわかれば第 13 図より出力電圧が、それに対応する電源電圧よりも減少した分は  $i_a r_a$



第 12 図  $E_{ac}=20\text{ V}$ ,  $I_c=-50\text{ }\mu\text{A}$  における出力電圧波形 ( $s=5\text{ V/cm}$ )



第 13 図 電源電圧と出力電圧  
波形の関係図

によるものであるから、 $r_a$  は第 13 図より次式で直接算出する。

$$r_a = R_L \left\{ \frac{\sqrt{2}}{B_s} E_{ac} \sin \theta - 1 \right\} \dots\dots\dots (22)$$

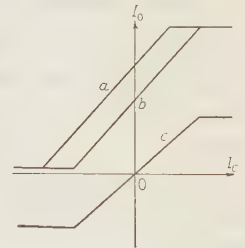
ここに  $s$  はブラウン管 オシログラフの感度 ( $\text{V/cm}$ ) である。これで求めた  $r_a$  の計算値は第 12 図に記入してあるが、負荷抵抗が増加するにつれて内部抵抗の影響が減じ測定は困難となる。この例では  $400\text{ }\Omega$  以上では電源電圧とほとんど一致し分解能がなくなるが、 $R_L$  が内部抵抗と同程度のところでは計算が容易で、先に求めた  $r_a$  とだいたい等しい値が得られている。

これでセンパーマックスについての  $\mu_a$ ,  $R_m$ ,  $r_a$  の 3 定数が求められたが、角形ヒステリシス鉄心の自己帰還形に対しても同様な関係がもちろん成立し、磁化特性の相違により 3 定数は興味深い変化をするが、電流増幅率が 1 けた下がるため高精度用の演算増幅器としては不向きである。

## 5. 磁気増幅器式演算器

(5.1) 磁気増幅器式演算増幅器<sup>(4)</sup> 演算増幅器の増幅特性は零を中心にして正負両側にある必要があ

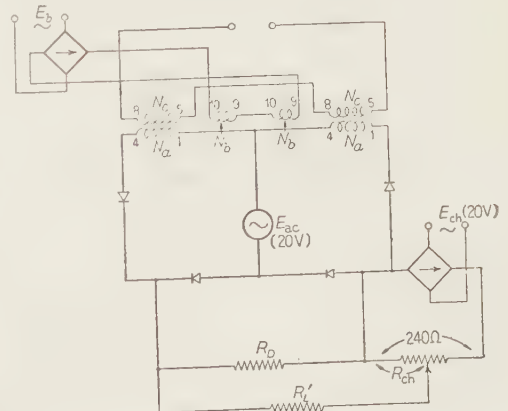
るが、磁気増幅器の増幅特性は第 14 図  $a$  曲線のように一方向出力であるため、これを  $c$  曲線のように改める必要がある。一般に  $c$  曲線を得るにはプッシュプル接続によっているが、使用磁気増幅器が 2 組になるため、大出力電力を要求されない演算器に使用するには適さない。そのため  $a$  曲線をバイアス電流により  $b$  曲線に移動し、直流の打ち消しを行って  $c$  曲線とするのが簡単な方法である。第 15 図がこれの実際の回路で等価回路は第 16 図で与えられる。負荷  $R_L'$  に流れる負荷電流  $\delta I_L$  は



第 14 図 演算増幅器  
動作説明図

$$\delta I_L = \frac{R_m \delta I_r}{\frac{r_a (R_{ch} + R_L')}{R_D} + R_{ch} + R_L' + r_a} \dots\dots\dots (23)$$

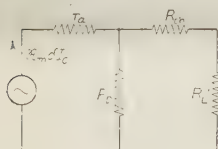
で与えられ、電流増幅度  $A_{a'}$  は



第 15 図 演算用磁気増幅器回路図

$$A_a' = \frac{\partial I_L}{\partial I_c} = \frac{\frac{R_m}{r_a(R_{ch} + R_L') + R_{ch} + R_L' + r_a}}{\frac{R_m}{R_D}} \dots \dots \dots (24)$$

となる。これが増幅器の見掛け上の電流増幅度を示す式で負荷抵抗、内部抵抗および打消し用抵抗 ( $R_{ch}$ ) が大となれば  $A_a'$  は減少し、打消し用ダミ抵抗  $R_D$  は大きいほど有利となるが、 $r_a$  は他の値にくらべて小さい

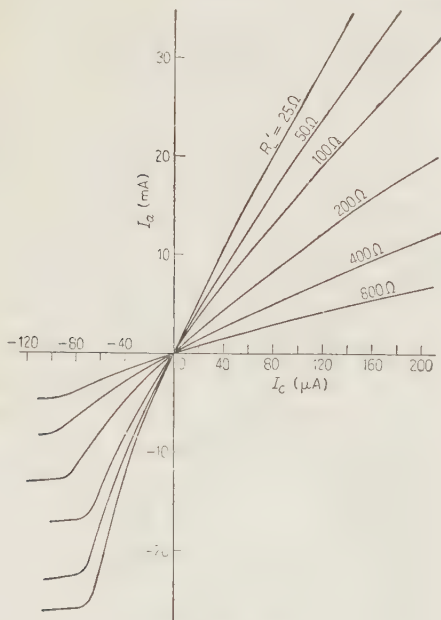


第 16 図 演算用磁気増幅器等価回路図

のが普通であるためこの影響はわずかなものとなる。第 17 図は前述の第 15 図の回路にバイアスを加えず打消し電圧のみを加え、 $R_D=150\Omega$  として  $R_L'$  をパラメータとした場合

の増幅特性である。この実験より (24) 式の結果を検討するため零点近傍での電流増幅度を求めたのが第 2 表で、実測値と計算値の差は最大で 10% 程度である。

なお第 2 表に示す演算増幅器の電流増幅度は 100 倍程度のもので、精度の高いものを作るには 1~2 けた程度増幅度が不足している。このため精度を高めるには演算増幅器に正帰還を加えてさらに電流増幅度を大きくする必要があるが、誤差が小さくなって実験による検討が困難となってくるため、ここでは正帰還のな



第 17 図 演算用磁気増幅器の増幅特性

第 2 表

$R_L' (\Omega)$	$\partial I_L / \partial I_c (\Omega)$	$R_{ch} (\Omega)$	$A_a$ (実測値)	$A_a$ (計算値)
25	$4.0 \times 10^4$	80	280	280.9
50	"	78	223	236.9
100	"	74	180	180.6
200	"	70	113	120.6
400	"	66	65	71.9
600	"	64	40	39.4

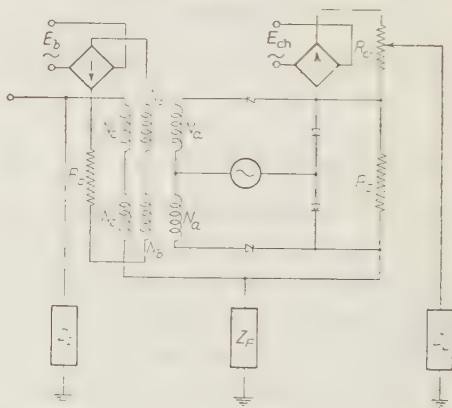
注:  $R_D=150\Omega$

い増幅度の小さい範囲だけを扱い、理論との比較検討を行って演算器に対する考え方および取り扱い方を主体に述べることにする。正帰還を加えた場合の演算基本式は付録を参照されたい。

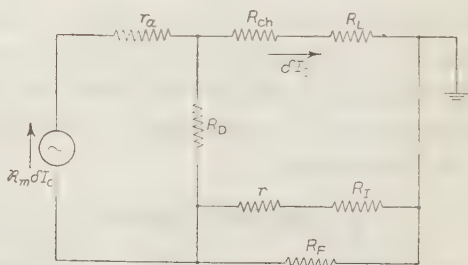
### (5・2) 倍率器

(a) 倍率特性 磁気増幅器式電流相似形演算器の実際の接続図は第 18 図のようになる。図中  $Z_L$  は負荷インピーダンスで演算器の実際の負荷、たとえば電動機励磁巻線や次段演算器がこれになる。倍率器は  $Z_I$  および  $Z_F$  をそれぞれ  $R_I$ ,  $R_F$  と抵抗に置換して得られ、演算式も (4) 式で与えられる。ただし増幅器出力回路の等価回路は第 19 図で示されるため (23), (24) 式の  $R_L'$  を

$$R_L' = R_L + \frac{(r + R_I) R_F}{r + R_I + R_F} \dots \dots \dots (25)$$



第 18 図 磁気増幅器式演算器の接続図



第 19 図 倍率器の等価回路図



とにおいて、磁気増幅器が演算増幅器として働いている  
ときの電流増幅度 ( $A_{ap}$ ) は

$$A_{ap} = \partial I_0 / \partial I_i$$

$$= \frac{\mathcal{R}_m}{\left\{ R_{ch} + R_L + \frac{R_F(r + R_I)}{r + R_I + R_F} \right\} \left( 1 + \frac{r_a}{R_D} \right) + r_a}$$

..... (26)

で与えられる。したがって倍率器の演算式は

$$I_0 = - \frac{1}{1 + \frac{\mathcal{R}_m}{\left\{ R_{ch} + R_L + \frac{R_F(r + R_I)}{r + R_I + R_F} \right\} \left( 1 + \frac{r_a}{R_D} \right) + r_a}}$$

$$* \frac{R_I I_i}{R_F} + r_a \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F} \right) \dots \dots \dots (27)$$

となり、演算誤差率 ( $\varepsilon_e$ ) は

$$\varepsilon_e = - \frac{\left\{ R_{ch} + R_L + \frac{R_F(r + R_I)}{r + R_I + R_F} \right\} \left( 1 + \frac{r_a}{R_D} \right) + r_a}{\mathcal{R}_m}$$

$$\times \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F} \right) \times 100 (\%) \dots \dots \dots (28)$$

となる。第 20 図 (a), (b) は  $R_F=100 \Omega$ ,  $R_L=100 \Omega$  の場合の倍率特性を示したもので、また第 21 図の実線はこの実験結果より演算誤差を求めたものである。演算増幅器としての電圧増幅率が不足しているため倍率 8 で 6~8% 程度の大きな誤差を生じている。同図中の点線は第 17 図で  $R_L' = R_L \cdot \frac{R_F \cdot r \cdot R_I}{r + R_I + R_F}$  とおいて  $A_{ap}$  を求め、(28) 式より算出した  $\varepsilon_e$  で両者は割合よく一致している。

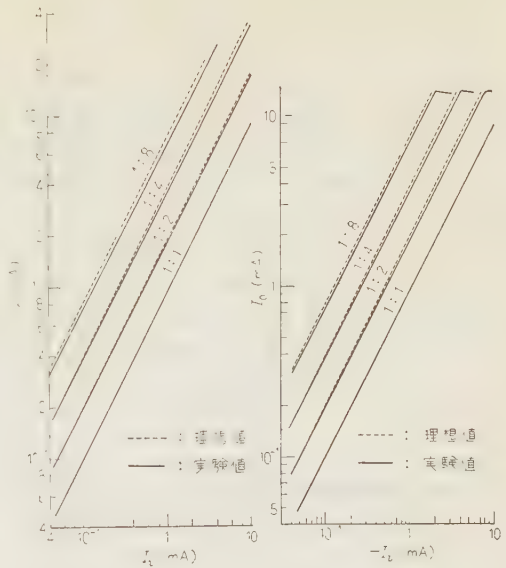
(b) 負荷抵抗の影響 理想的な倍率器は負荷抵抗による影響を全く受けないが、実際には(27)式で与えられるように、演算増幅器の電流増幅度  $A_{ap}$  が  $R_L$  で変わるため多少の影響を受けることになる。これを調べるには (27) 式を微分して

$$dI_0 = \frac{\left( 1 + \frac{r_a}{R_D} \right) \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} \right) *}{\left\{ \mathcal{R}_m + \left\{ R_{ch} + R_L + \frac{R_F(r + R_I)}{r + R_I + R_F} \right\} \right.}$$

$$\left. + \frac{r}{R_F} \right\} \mathcal{R}_m} \frac{R_I I_i dR_L}{\left( 1 + \frac{r_a}{R_D} \right) + r_a \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F} \right)^2 R_F} \dots \dots \dots (29)$$

しかるに

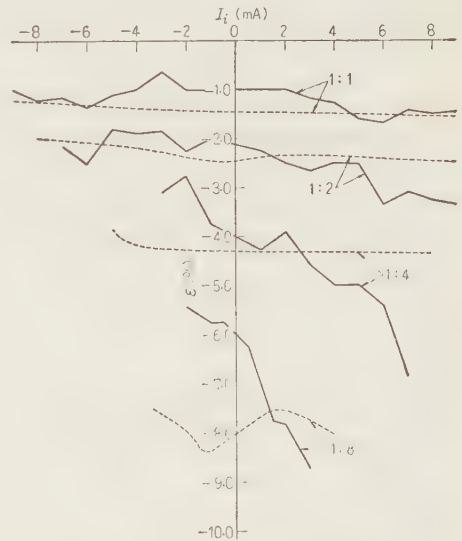
$$\mathcal{R}_m \gg \left\{ R_{ch} + R_L + \frac{R_F(r + R_I)}{r + R_I + R_F} \right\} \left( 1 + \frac{r_a}{R_D} \right)$$



(a) 倍率特性 (正入力)

(b) 倍率特性 (負入力)

第 20 図



第 21 図 倍率器誤差特性曲線

$$+ r_a \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F} \right)$$

の条件を考慮して (29) 式はまた次のように書き換えられる。

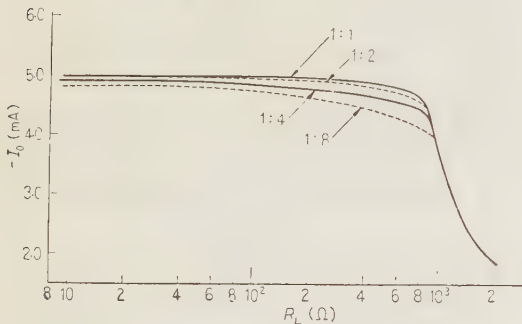
$$\frac{dI_0}{I_0} = - \left( 1 + \frac{r_a}{R_D} \right) \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F} \right) \frac{dR_L}{\mathcal{R}_m} \dots (30)$$

これより実効出力インピーダンス ( $R_0$ ) は

$$R_0 = \frac{R_m}{\left(1 + \frac{r_a}{R_D}\right) \left(1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F}\right)} \dots\dots\dots (31)$$

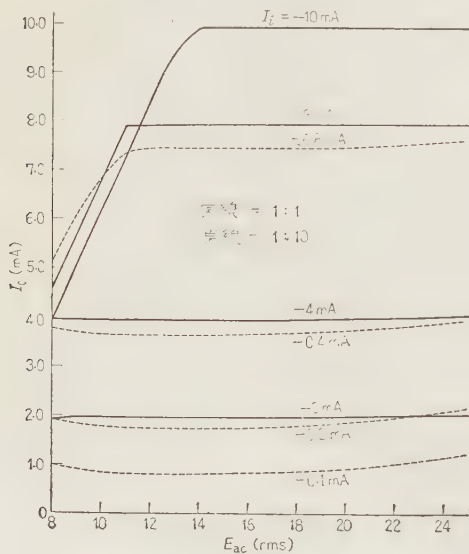
となる。この (31) 式より  $R_0$  は倍率により異なるが、 $R_m$  は充分大なる値であるため、 $R_0$  もまた大なるものとなり定電流特性が得られることになる。第 22 図は  $R_F=100\Omega$  で倍率をパラメータとした場合の負荷抵抗の影響を実験したものである。

実効出力抵抗が大となることは、負荷の種類によらず安定に動作すること以外に演算器として結合した場合、後段からのもどりなどがあってもこれを抑圧しうするため、従来磁気増幅器の使い方と問題となっていた結合の困難さも一挙に解決されることになる。



第 22 図  $I_0$ - $R_L$  図

(c) 交流電源電圧の影響 交流電源電圧の影響は実用上重要なことがらである。これより使用確度が与えられたとき定電圧装置の精度が決定される。この電源電圧の影響は簡単でなく、打消し用電圧、バイア



第 23 図  $I_0$ - $E_{ac}$  図

ス電流なども変化するほか、磁気増幅器の  $R_m$  をもかえるが、負帰還作用により出力電流の変化はわずかなものとなる。

第 23 図で実線は 1 倍の倍率のとき入力電流をパラメータとして出力電流-電源電圧の関係を、また点線は 10 倍について同様の特性を実験したもので、10 倍の場合でも  $\pm 20\%$  の電源電圧の変動に対して出力電流の変化は最大で  $\pm 2\%$  程度である。

(5.3) 積分器 積分器は第 18 図の  $Z_I$  をコンデンサに、 $Z_F$  を抵抗にして得られる。一般に積分器の解析および実験による検討は単位入力に対する定常状態が存在しないため、倍率器のように簡単に求めることができないが、次の仮定のもとで、その動作の概略を知ることが可能である。

(i) 積分コンデンサは理想的なものとし、吸収現象や漏れ抵抗は無視する。

(ii) 演算増幅器の電流増幅度  $A_{ap}$  を決定する際、コンデンサのインピーダンスに  $p$  の関数とせず無限大とする。

この仮定より積分器の場合の電流増幅度  $A_{ap}$  は、(26) 式で  $R_I$  を無限大とおいたもので、これを再び (4) 式に代入して積分器の基本式が得られる。

$$I_0 = - \frac{1}{1 + \frac{(R_{ch} + R_L + R_F) \left(1 + \frac{r_a}{R_D}\right) + r_a}{R_m}} * \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{R_F} + \frac{1}{pC_I R_F}\right)} \frac{1}{pC_I R_F} I_i \dots\dots\dots (32)$$

ここに  $C_I$ : 積分コンデンサの容量  
演算器増幅率  $\varepsilon_J$  は

$$\varepsilon_J = - \frac{(R_{ch} + R_L + R_F) \left(1 + \frac{r_a}{R_D}\right) + r_a}{R_m} \times \left(1 + \frac{1}{R_F} + \frac{1}{pC_I R_F}\right) \times 100(\%) \dots\dots\dots (33)$$

となる。したがって積分器の誤差率は倍率器と違い  $p$  の関数で、 $p$  が小さいほど、すなわち演算周波数の低いほど、大なる演算誤差を生ずることとなる。これは (32) 式を次のように変形することにより一層明らかとなる。

$$I_0 \approx - \frac{A_{ap}}{1 + pC_I R_F A_{ap}} I_i \dots\dots\dots (34)$$

となり、正確には一次遅れでその時定数が  $C_I R_F A_{ap}$  にあるものとなる。そのため演算周波数が低くなり、折点周波数に近づくにつれて誤差が増加してくること

が理解される。もし  $A_{ap}$  が無限大であれば、理想的積分演算が得られるが、実際には有限なものとなるが、 $A_{ap}$  が大なるほど優秀な積分器となる。

積分器の動作を実験的に検討するには、今日電子管式アナログ計算機で行われている不減衰単振動によらなければならないが、ここでは積分コンデンサに並列に抵抗を入れ一次遅れ系として、その定常値より一次系としての誤差を検討してみることとする。積分コンデンサに並列抵抗  $R_I$  があれば、その入力インピーダンス  $Z_I$  は

$$Z_I = R_I / (1 + pC_I R_I) \quad (35)$$

また電流増幅度  $A_{ap}$  を (i) および (ii) の仮定より求め、この場合の入出力電流の関係を求めれば

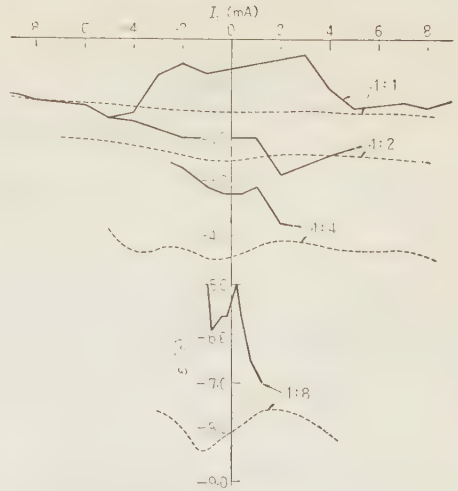
$$I_0 = \frac{1}{1 + \frac{\{R_{ch} + R_L + \frac{R_F(r + R_I)}{r + R_I + R_F}\} \left(1 + \frac{r_a}{R_D}\right) + r_a}{\mathcal{R}_m}} \cdot \frac{R_I}{R_F} \frac{I_i}{1 + pC_I R_I} \left(1 + \frac{R_I}{R_F} \cdot \frac{1}{1 + pC_I R_I} + \frac{r}{R_F}\right) \quad (36)$$

となる。ここで  $p \rightarrow 0$  の極限を考え定常誤差率  $\varepsilon_f(0)$  を求めると

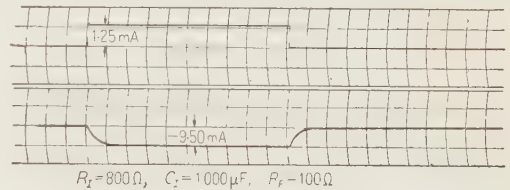
$$\varepsilon_f(0) = \frac{\{R_{ch} + R_L + \frac{R_F(r + R_I)}{r + R_I + R_F}\} \left(1 + \frac{r_a}{R_D}\right) + r_a}{\mathcal{R}_m} \times \left(1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F}\right) \quad (37)$$

と倍率器と同じ形になる。第 24 図は  $R_F = 100 \Omega$ ,  $C_I = 1,000 \mu F$ ,  $R_L = 100 \Omega$  で、各倍率について定常値が理想特性からずれる誤差率を求めたもので、(37) 式から得られる計算値を点線で、実験値を実線で示したものである。倍率の大きな所で実測値のほうが小さな誤差となっているが、これは (ii) の仮定が厳密には成立せず、コンデンサのインピーダンスが有限となり、電流増幅度が計算値より大きくなるためと思われる。第 25 図は  $0.1 \text{ s}$  の時定数をもつフィルタを通して、この一次遅れ系のインディシャル応答を求めたものの一例である。

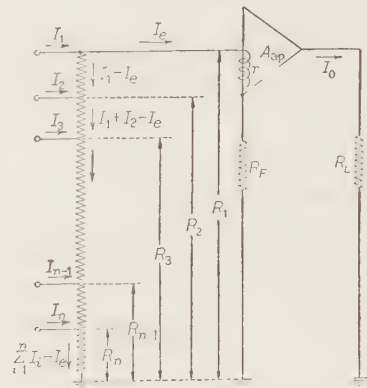
(5.4) 加算倍率器 電圧相似形演算器では加算積分、加算倍率とも容易に実現しうるが、電流相似形演算器においては加算積分が困難で加算倍率を使用することになる。第 26 図は加算倍率器の回路図である。



第 24 図 一次遅れ系定常誤差特性曲線



第 25 図 一次遅れ系のインディシャル応答の一例



第 26 図 加算倍率器の原理図

いま電流分布を図のように仮定すればキルヒホッフの法則を適用して

$$(I_1 - I_e)(R_1 - R_2) + (I_1 + I_2 - I_e)(R_2 - R_3) + \dots + (I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1} - I_e)(R_{n-1} - R_n) + (I_1 + I_2 + \dots + I_n - I_e)R_n = I_e r + (I_e - I_0)R_F \quad (38)$$

$$I_e = -I_0 / A_{ap} \quad (39)$$



を得る。これより  $I_0$  を消去して整理すれば

$$I_0 = - \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{ap}} \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F} \right)} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R_F} I_i \quad (40)$$

なる基本式が得られる。ここで再び  $A_{ap}$  が充分大であれば

$$I_0 \approx - \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R_F} I_i \quad (41)$$

となって理想的な加算倍率特性となる。また演算誤差率  $\varepsilon_a$  は

$$\varepsilon_a \approx - \frac{1}{A_{ap}} \left( 1 + \frac{R_I}{R_F} + \frac{r}{R_F} \right) \times 100(\%) \quad (42)$$

で与えられ、この  $A_{ap}$  は (26) 式の  $R_I$  を  $R_1$  に置換したものである。これより電流相似形加算倍率器の演算誤差は電圧相似形と異なり、倍率  $\sum \frac{R_i}{R_F}$  に無関係となり、最大倍率  $R_I/R_F$  で定まる。

## 6. 結 言

以上、磁気増幅器式電流相似形演算器の基礎的な解析およびその結果に対して実験による検討を行い、磁気増幅器を用いて任意の演算を行うことが可能であることを明らかにした。本文においては理論と実験の照合を容易にするため、磁気増幅器の電流増幅度は特別に高めていないが、付録に掲げてある正帰還を施したものでは、誤差はさらに小さくなり、アナログ計算機としても使用できる程度の演算器が作りうる。

磁気増幅器式演算器は従来の電子管式演算器に比較して、次の特徴を有している。

(1) 電流相似・低速度形演算器であること。(2) 特性が安定で寿命が長いこと。(3) 調整が容易であること。(4) 精密な定電圧装置がいらないこと。(5) インピーダンスレベルが低いため、回路の絶縁が容易で外部からの誘導などを受けないこと。(6) 大電力用も容易に作りうること。(7) 予熱の時間が不要である。

(8) 強固であること。

このため、計算制御用の演算要素としてもっとも適しているものと思われるが、計算機として完成させるには、さらに種々と解決しなければならない問題もあるほか、ここに述べた以外の演算器としての応用なども相当広い範囲のものが期待されるが、これらに関しては別の機会に譲ることにしたい。

終りにたえずご指導、ごべんたつをいただいた電気試験所野田克彦課長、および実験に協力された飯田喜久男技官、鈴木勇技術員に深く感謝する。(昭和 34 年 12 月 15 日受付、同 35 年 8 月 18 日再受付)

## 文 献

- (1) たとえば、Korn & Korn: Electronic Analog Computers, (1956)
- (2) B. P. Kerfoot: Trans. Inst. Radio Engrs. on Electronic Computers, p. 86 (1956-6)
- (3) 黒川・鈴木: 昭 34 電気学会東京支部大会 71
- (4) 野田・黒川・飯田・鈴木: 昭 34 電気学会東京支部大会 87

## 付録 正帰還を用いた場合の演算式

演算増幅器の電流増幅度 ( $A_{ap}$ ) を増加させて、演

算誤差を減少さ

せる手段として

付第 1 図に示す

ような正帰還の

活用が考えられ

る。いま負荷電

流 ( $I_0$ ) に比例

する  $kI_0$  が帰還

回路に流れ、入

力換算で  $\beta I_0$  の

正帰還作用があ

るものとすれば

付第 1 図 正帰還形演算器の原理図

次の方程式を得る。

$$I_1 + I_2 = I_i \quad (付 1)$$

$$I_1 Z_I = I_2 (r + Z_F) - I_0 Z_F \quad (付 2)$$

$$(I_2 - \beta I_0) A_{ap} = -(I_0 + k I_0) \quad (付 3)$$

ただし  $\beta = k N_F / N_c$ ,  $A_{ap}$ : 正帰還のない演算増幅器の電流増幅度

これより  $I_1$  および  $I_2$  を消去して

$$I_0 = - \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{ap}} (1 + k - A_{ap} \beta) \left( 1 + \frac{Z_I}{Z_F} + \frac{r}{Z_F} \right)} \times Z_I / Z_F \cdot I_i \quad (付 4)$$

なる関係式が得られる。磁気増幅器の鉄心がよければ

$k$  は充分小さな値で電流増幅度を大きくしうるので、

$1 \gg k$  なる条件のもとで (付 4) 式は

$$I_0 \approx - \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{ap}} (1 - A_{ap} \beta) \left( 1 + \frac{Z_I}{Z_F} + \frac{r}{Z_F} \right)} \times Z_I / Z_F \cdot I_i \quad (付 5)$$

となり、このときの演算誤差率  $\varepsilon$  は

$$\varepsilon \approx - \frac{1 - A_{ap} \beta}{A_{ap}} \left( 1 + \frac{Z_I}{Z_F} + \frac{r}{Z_F} \right) \quad (付 6)$$

で与えられる。もし  $1 - A_{ap} \beta = 0$  ならば誤差は零となり、

理想的な演算が行われる。実際には磁気増幅器の増幅特性が非線形であるため、すべての使用範囲にわたってこの条件を満足させることは不可能で、 $(1 - A_{ap})$  の符号にしたがって誤差も変化する。なお正帰還を加えて演算増幅器の利得を増加させた場合は、上述のように演算の精度が上昇するだけで、ドリフト、直線性の改善には役立たない。

UDC 621.318.13.013:621.3.042.13:538.23

# 角形ヒステリシス特性を有するテープ巻磁心の ヒステリシス曲線の異常現象\*

正 員 佐 藤 義 信†

資料・論文

35-115

## 1. 緒 言

角形ヒステリシス特性を有するテープ巻磁心の磁気動特性において、交流ヒステリシス曲線の側部すなわち磁化反転部分が、異常な下降あるいは上昇曲線を示し、材料固有の角形性を失ったヒステリシス曲線となって現われる場合がしばしば起る。Lord 氏<sup>(1)</sup>は、磁心テープの厚さ、動作周波数によって、この種の異常曲線が出現することを報告し、また Hale, Richardson 両氏<sup>(2)</sup>は、うず電流による表皮効果によって影響される磁束分布を考慮した理論的計算から、ヒステリシス曲線を求め、Lord 氏の測定結果の一つと比較して、現象を説明している。

しかしながら、著者が観測した多くの磁心の中には、非常に奇異なヒステリシス曲線となる場合があり、また多種多様の異常曲線が観測された。著者はこの異常現象を究明するために、測定する磁心の条件を変えて、50 c/s における交流特性ならびに直流特性の両特性を測定して比較検討を行った。その結果測定および回路の条件によって起った現象でないことが明らかとなり、また Lord 氏の測定結果のようなテープ厚、動作周波数のみによって出現する特異現象ではなくて、磁心に本質的に存在するなんらかの欠陥によっても起きることが認められた。

直流特性の測定は、側部の傾斜の急な角形ヒステリシス曲線をもつ磁心の場合、従来の弾動検流計法を用いたのでは測定点の接続によってヒステリシス曲線を求めるため、側部の詳細な測定結果を得ることができないので、曲線の異常部分を正確に捕えるために、連続的にまた自動的に磁化曲線を記録することのできる自記磁束計を用いた。

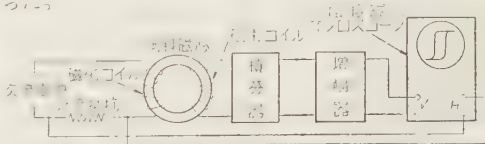
本稿においては、角形ヒステリシス特性を有する材料として磁気増幅器などに広範囲に使用され、またこの種異常現象の著しい異方性 50 % パーマロイテープのトロイダル磁心を用いて、上述のようなヒステリシ

ス曲線の異常現象がどのような原因によって発生するのか、またこのような原因によって直流あるいは交流ヒステリシス曲線がどのような影響を受けるのかについて実験し、異常現象に対する考察を行った。

## 2. 実 験

(2・1) ヒステリシス曲線測定装置 直流ヒステリシス曲線の測定は Cioffi 形の自記磁束計<sup>(3)</sup>を用いて行ったが、この自記磁束計は電子管式磁束計積分回路、分流器、X-Y 記録計、磁化電流加減装置などの主要部分から組み立てられており、特に X-Y 記録計には信頼度の高い性能をもつ Speedmax (Leeds & Northrup 製)を使用したものである。

ヒステリシス曲線の測定には、最初に充分な調整を行い装置の精度を上げ、(最高精度  $\pm 0.5\%$ ) 同一試料について3回以上の測定を行って測定されたヒステリシス曲線の再現性を確認した。また自記磁束計によってヒステリシス曲線を測定記録する場合、曲線の側部が非常に急であるため、磁束の変化速度の影響が現われるので、変化速度を十分に遅くし、(約 2,000 G/s 以下) 真の静磁化特性に近いものを得よう注意を払った。



第 1 図 交流ヒステリシス曲線直視装置の構成図

交流ヒステリシス曲線の測定には、陰極線オシロスコープによる直視装置を用いた。第 1 図は直視装置の構成図である。<sup>(4)</sup> 磁心は低インピーダンス電源によって励磁され、その磁束波形ができるだけ正弦波に近い波形であるような条件のもとに観測し、写真撮影を行った。

曲線はすべて 50 c/s の交流で測定され、また測定はヒステリシス曲線の形状にもっぱら重点をおき、磁化力のピーク値およびオシロスコープ上のヒステリシス曲線の B 軸、H 軸のスケールは適当に定めた。

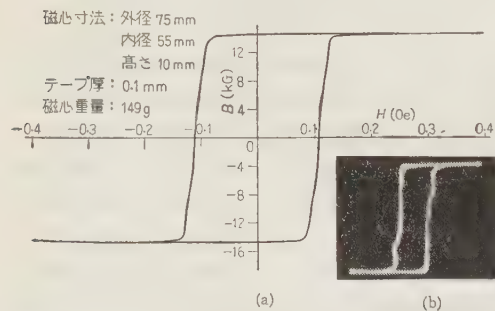
\* Abnormal Behaviors of the Rectangular Hysteresis Loops of Tape Wound Magnetic Cores. By Y. SATO, Member (Kin-zoku Kogyo Kenkyusho).

† 金属工業研究所

(2・2) 測定試料 測定に用いた異方性 50% パーマロイは、高純度の電解鉄、電解ニッケルおよびマンガンをを用いて高周波誘導炉で真空溶解したインゴットから、高温加工によって 5~10 mm 厚の板にし、1,000 °C の中間焼なまし後さらに強度の冷間圧延によって 0.05 mm, 0.025 mm の最終の厚さまで圧延して製作した。また 0.1 mm 厚のものは、類似の方法によって他商社の製作したものを用いた。これらの薄板を所要の幅のテープにスリットし、これを巻いて種々寸法のトロイダル磁心を製作した。テープのスリッチングによる「かえり」は絶縁不良の原因となるので、磁心に巻く前に除去した。磁心製作における層間絶縁および成形は、電気泳動 (Cataphoresis) によって連続的にテープの両面にマグネシアの薄膜を電着塗布し、乾燥したテープを巻き取り治具に巻き取って所要寸法の磁心に成形した。磁心の最終熱処理は露点温度 -40°C の乾水素を通じた炉中で、1,070~1,160°C で約 2 h 行い炉中冷却した。磁心はすべてベークライト製のケースに入れ、巻線など外部からの機械的ひずみ力により特性が劣化しないよう保護した。

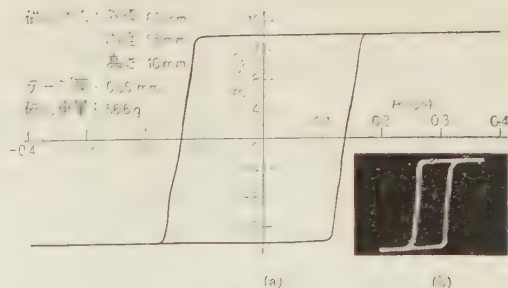
(2・3) 結果 前記方法によって多数の磁心について直流および交流ヒステリシス曲線の測定を行った。そして多種多様の異常曲線が観測されたが、第 2 図 (a), (b) は\*測定された異常ヒステリシス曲線の一例を示したものである。このように異常は交流のみならず直流曲線にも観測された。このことは磁心になんらかの欠陥が存在することを意味している。以下簡明な例として単純な不均一欠陥の存在する磁心についての測定結果を示す。ヒステリシス曲線図において (a) 図は直流曲線、(b) 図は 50 c/s 交流曲線である。

第 3 図 (a), (b) は、磁心の積層幅の約 1/3 および 2/3 の付近のテープ中に第 4 図に見られるような部分的に異なった結晶組織が多数存在している磁心のヒステリシス曲線で、直流曲線の異常に対応して交流曲線

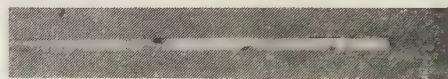


第 2 図

\* この試料磁心は国産某商社製品である。

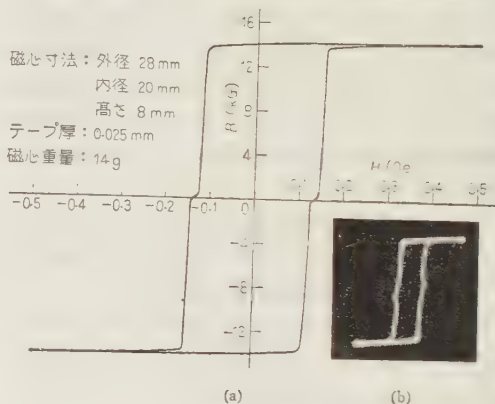


第 3 図



テープ幅 10 mm, テープ厚 0.025 mm

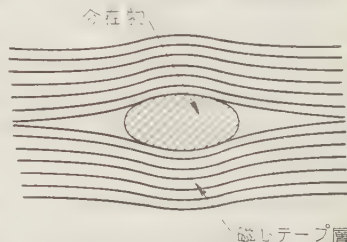
第 4 図 テープ面に見られる不均一な結晶組織



第 5 図

にも異常が現われている。

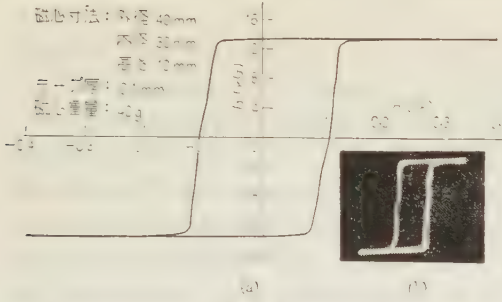
第 5 図 (a), (b) は磁心のほぼ中間の層の間に絶縁成形の際はいった微小の介在物があり、この付近の積層面が第 6 図のようにになっている磁心のヒステリシス曲線を示したものである。材料テープを巻いて磁心に作る際、テープに適度の一様な張力を加えて巻かれるが、このような介在物の介入により、この付近のひずみ分布が異常となり、最終熱処理



第 6 図

での再結晶組織の発達成長を妨げるような影響をおよぼすであろう。また不均一ひずみとして残存することも考えられる。材料テープの厚さの薄い場合に特にこのような欠陥の介入によるヒステリシス曲線への影響



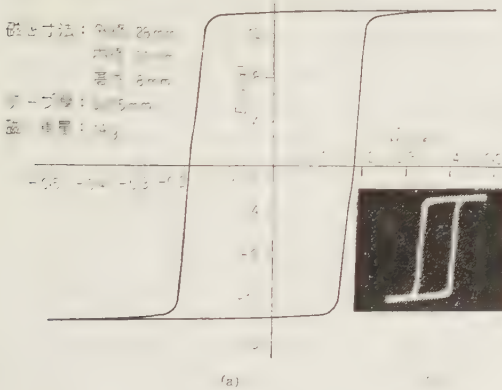


第 7 図

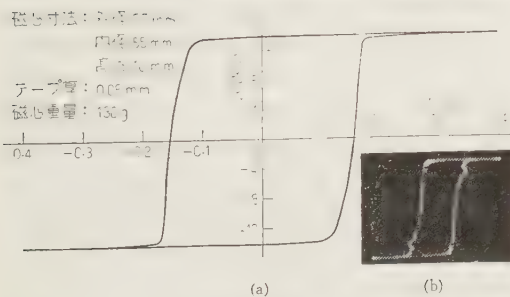
が大きい。

第 7 図 (a), (b) は磁心の中間層付近に「継ぎ目」のある材料テープで作られた材料テープであるが、2 本のテープを溶接によって接続した「継ぎ目」のある場合のヒステリシス曲線を示したものである。この図のようにテープの溶接がヒステリシス曲線に異常をもたらす原因となる。これは「継ぎ目」が第 5 図の磁心の場合の人物と図 1 のような影響をおよぼすものと推定される。この図は 0.1 mm 厚テープ磁心の場合であるが、テープ厚の薄さ、ほどこのような接合による異常が起るべく、全然異常の発生しない場合もある。

第 8 図 (a), (b) は磁心テープが磁心の中間層付近で約 2 層ほどオーバーラップさせておいた磁心の場合



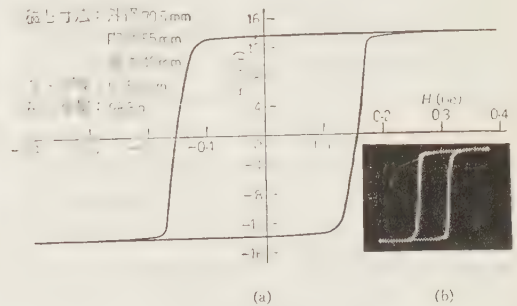
第 8 図



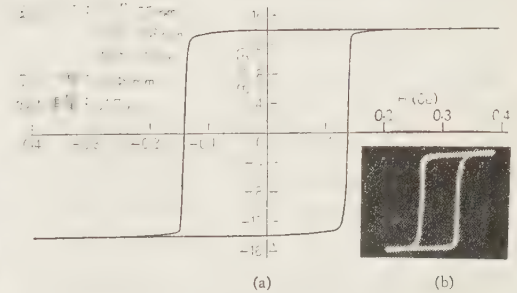
第 9 図

のヒステリシス曲線である。この場合もテープ厚が厚いほど影響が大きい。

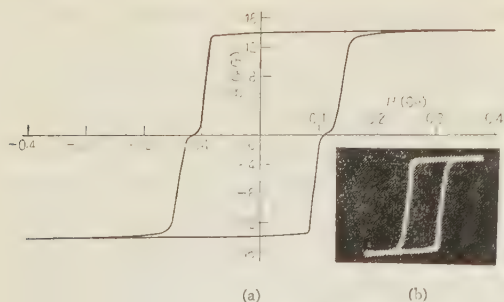
第 9 図 (a), (b) は第 7 図の場合のような接続部分の影響でなく、他の不均一によって発生した異常を示したもので、若干の材質の相違のほかにはテープ厚に相違のある外径部分と内径部分の二つの部分からなっている 0.05 mm 厚テープ磁心の場合である。磁心外径部分の平均テープ厚は 0.055 mm であり、内径部分は 0.045 mm であった。この図に見られるように直流曲線は全体がやや太鼓形になっているが、第 7 図の場合のように曲線の側部に異常なふくらみや不連続がない。したがって「継ぎ目」による影響はほとんどないものと考えてさしつかえないであろう。しかし交流曲線には非常に大きな異常が現われている。いまこの接続部分で、ひずみにより特性が損われないよう注意深くテープを切断し、2 個の磁心に分割して測定した場合のおおのヒステリシス曲線が第 10 図 (a), (b) および第 11 図 (a), (b) である。この両図において直流特性は外径部分〔第 11 図 (a)〕のほうが内径部分〔第 10 図 (a)〕よりも抗磁力が小さいが、交流特性 (両図の  $H$  軸スケールは同じ) では逆に内径部分〔第 10 図 (b)〕のほうが外径部分〔第 11 図 (b)〕よりも抗磁力は小さい。また両磁心を合わせてもとの 1 個の磁心とした場合は、第 9 図と全く同じヒステリシス曲線となった。



第 10 図



第 11 図



第 12 図

第 1 表

試料磁心		a 磁心	b 磁心
寸法 (外径 × 長さ) × (厚さ) (mm)		42 × 36 × 10 × 0.025	42 × 36 × 10 × 0.025
最終熱処理温度 (°C)		1,130	1,070
直流磁気特性	$H_c$ (Oe)	0.095	0.014
	$B_r/B_0$ (%)	96.5	96.0
絶縁特性	完全絶縁のときの抵抗値 ( $\Omega$ )	12.1	12.0
	最終熱処理前の抵抗値 ( $\Omega$ )	7.6	7.5
	最終熱処理後の抵抗値 ( $\Omega$ )	0.3	1.2

第 12 図 (a), (b) は磁心の絶縁特性に不均一があった場合のヒステリシス曲線におよぼす影響を示したもので、第 1 表のような最終熱処理温度の相違により異なった直流磁気特性、絶縁特性（磁心の内径層と外径層の間の直流電気抵抗値）をもつ同一材料、同一寸法の 2 個の磁心を積み重ねて 1 個の磁心として測定を行った。磁気特性の相違により直流曲線の側部は不連続曲線となって現われるが、交流曲線は絶縁特性の相違により、たまたま不連続のない見掛け上正常なヒステリシス曲線となったものである。直流磁気特性が同じ場合は直流曲線には異常はないが、交流曲線は当然異常曲線となる。このような絶縁の不均一や第 12 図のようなテープ厚の不均一の影響は直流曲線には現われないが、交流曲線では異常曲線の原因として非常に問題となってくる。

### 3. 考 察

測定結果が示すように、磁心中に存在する不均一欠陥が異常ヒステリシス曲線の原因となることが明らかとなったが、ここでヒステリシス曲線の異常現象に対しトロイダル磁心の磁化過程から考察してみよう。

(3.1) 磁化反転過程<sup>(5)~(8)</sup> まず角形ヒステリシス特性を有する異方性 50% パーマロイのような、ある特定方向に磁化容易方向をそろえた多結晶材料テープの磁化反転の過程について、磁区理論的に考察す

る。

いま一方に飽和した状態から逆方向に外部磁界を増加していった際、ある強さの限界磁界に達するときテープ面に発生した逆磁化の芽が発達成長してテープ全体に拡大し伝搬してゆく、いいかえれば逆磁化の芽の発達によって形成された磁壁の急速な移動が起る。このような磁化機構は多くの研究によりよく知られている事実であって、逆磁化の芽の発生とこれに伴って形成される磁壁の移動によって、磁束が変化し磁化の反転が行われる。

逆磁化の芽の発生は結晶粒界、不純物などのような材料中不完全個所に起りやすく、その発生する数、大きさは結晶粒の大きさや材料の純度などに関係があり、また以前の飽和状態、印加磁界の大きさ、結晶粒オリエンテーションの程度などにより変化する。また磁壁移動は限界磁界をこえる過剰磁化力によって行われるが、材料テープの厚さ、電気抵抗などにより発生されるうず電流効果、粘性に類似したスピン緩和効果、および磁区境界における表面張力、弾性効果などによって妨げられ、移動に制限を受ける。

角形ヒステリシス特性を有する材料は上述のような過程で大部分の磁化反転を完了するが、完全な磁化飽和状態ではなく、さらに磁区回転過程によって飽和に達する。そして材料の結晶粒オリエンテーションの度合により回転過程による磁束変化の大小が決まる。

次にテープ状の材料を巻いて作られたトロイダル磁心の場合には、磁心に巻いた磁化巻線によって磁化したとき磁化力は磁心全体にわたって一様でない。内径層から外径層にゆくにしたがって磁化力は弱まり、内径と外径の比によってその傾斜が異なってくる。したがって磁化の反転は内径層から起り外径層におよんでゆく、すなわち磁壁の形成と移動は磁心を構成するテープの内径部分から発して外径部分に向って進行してゆくものと考えられる。そして巻磁心の場合のヒステリシス曲線の側部は外径 ( $d_0$ ) と内径 ( $d_i$ ) の比 ( $d_0/d_i$ ) が大きくなるにしたがって傾斜の度が増し、曲線の形は方形でなくなる。またヒステリシス曲線の側部の下降あるいは上昇の始めの部分は磁心の内径部分、終りの部分は磁心の外径部分の磁束変化に対応するものと考えられる。さらにまたトロイダル磁心の場合はテープ層間に磁氣的相互作用が存在するものと考えられるので、1 本のテープだけの状態の場合とは逆磁化の芽の発生発達、磁壁移動の様子が若干異なるであろうが、磁化反転は上述のような機構で行われるものと考えられる。

(3.2) ヒステリシス曲線の異常現象 前述のよう

に、磁区の発生発達、磁壁移動はうず電流およびスピン緩和などの粘性効果、弾性効果によって制限を受けるが、交流動作の場合これらの影響力が大きくなる。したがって磁束変化にもその影響が現われ、Lord 氏が測定したような交流ヒステリシス曲線になることが考えられる。<sup>(1)(2)</sup> しかしテープ巻磁心のヒステリシス曲線に現われる異常については、さらに測定結果に示したように磁心中に存在する不均一欠陥による影響を考慮しなければならない。

一般に材料中には不純物、ひずみ、析出物、結晶粒の大きさなど種々の不均一要素が含まれているが、特に角形ヒステリシス特性を有する異方性 50% パーマロイテープのように、適当な冷間圧延と熱処理とによって圧延方向が磁化容易方向となるような立方再結晶組織を作る場合には、その結晶組織の不均一やまたテープの厚さの不均一が問題となる。さらにこのような材料テープ自体の不均一のほかに磁心に巻いた場合には磁心としての不均一を考慮しなければならない。磁心の不均一として特に考慮すべきものに層間の絶縁層の不均一があり、また各層テープの張力分布の不均一がある。普通磁心はテープの表面にマグネシアまたはアルミナなどの、薄くかつ一様な絶縁皮膜を塗布し、速度の様な張力を加えて巻いて磁心に成形するのであるが、最終熱処理後の磁心にこれらの不均一が原因となって層間絶縁、占積率、再結晶組織などの不均一が発生することが考えられる。磁心中に層間絶縁の良好な部分、不良な部分が存在することは、テープ厚の不均一の存在と同様、うず電流によって著しく交流特性が影響を受ける。また絶縁不完全部分があれば、熱処理時の溶着によって磁心にひずみの不均一が発生することも考えられる。

磁心中に存在するこれらの不均一によって、前述したような磁区の発生発達、磁壁移動が影響を受ける。すなわち磁壁移動はこのような不均一のために磁心全体にわたって平滑に行われず、不連続的な移動が行われる。磁壁移動の磁心中局部的な不規則挙動の結果、磁束変化は一樣に行われず、磁心全体の磁束変化として観測される磁化曲線には不連続磁化現象のような曲線となって現われる。一般に強磁性材料の磁化曲線の立ち上がり部分は、微視的に見れば微視的な不均一による不連続磁化現象（バルクハウゼン効果）によって階段状の曲線になっているのであるが、特に側部の急激に立ち上がった角形ヒステリシス特性をもつ材料のように、磁束変化の大部分が不可逆磁化領域からなるような場合には、前述のような不均一による磁壁移動の磁心中における不規則挙動が、磁化曲線上に磁束変化の異常となって非常に現われやすいものと考えられる。そしてまた巻磁心の場合には内径と外径間の磁化力が異なるために、このような異常曲線が一層現

われやすい。

上述のようにトロイダル磁心の磁化反転過程として磁心の内径から外径まで磁区の発生発達、磁壁移動が行われる際、磁心途中に存在する種々の不均一欠陥の影響を受け、その結果ヒステリシス曲線に異常が現われる場合を考えることができるであろう。すなわち不均一による一種の大スケールのバルクハウゼン不連続とも考えられるわけである。不均一要素が数多く存在するときはその影響も非常に複雑なものとなり、不均一要素の磁心中に分布する状態によって種々の形状の磁化曲線となる。特に不均一が磁心中局部的に集中分布する場合は、明確な不連続曲線となって現われるし、テープ厚や絶縁の不均一は交流動作の場合に大きい影響力をもつから、交流曲線は直流曲線とは異なった形状の曲線となって現われるはずである。

#### 4. 結 言

以上、角形ヒステリシス特性を有するテープ巻磁心のヒステリシス曲線側部の異常が磁心に存在する種々の不均一欠陥によって出現する場合について述べたが、このようにこの種磁心においては大きな不均一のある場合はもちろんであるが、わずかな不均一によっても磁化曲線が影響を受けやすいので、良好な角形ヒステリシス特性を有するテープ巻磁心を得るには、磁心の製作においてできるだけ磁心に不均一な部分が存在しないよう細心の注意を払う必要がある。

本稿の交流ヒステリシス曲線は 50 c/s の場合であったが、もっと周波数の高い場合はヒステリシス曲線の異常の様子が本測定の結果より変わってくることは本稿において行った磁化反転機構の考察および Lord 氏の測定結果<sup>(1)</sup>から当然考えられる。また外径と内径の比 ( $d_o/d_i$ ) が大きくなるほど磁心の不均一による異常ヒステリシス曲線出現の可能性が大きくなるであろう。このような不均一による異常ヒステリシス曲線をもったテープ巻磁心を磁気増幅器などの実際の用途に使用した場合、どのような影響をおよぼすかは今後さらに検討すべき問題である。

終りに、著者の研究を総えすご指導下され、かつ多くの有益なご示唆を与えられた金属工業研究所長仁科博士に厚く感謝の意を表する次第である。(昭和 34 年 12 月 3 日受付、同 35 年 8 月 22 日再受付)

#### 文 献

- (1) H. W. Lord: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **72**, 85 (1953)
- (2) J. W. Hale & F. R. Richardson: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **73**, 269 (1954)
- (3) P. P. Cioffi: Rev. sci. Instrum. **21**, 624 (1950)
- (4) H. W. Lord: Elect. Engrs **71**, 518 (1952)
- (5) K. J. Sixtus & L. Tonks: Phys. Rev. **37**, 930 (1931) 他
- (6) J. B. Goodenough: Phys. Rev. **95**, 917 (1954)
- (7) C. P. Bean & D. S. Rodbell: J. appl. Phys. **26**, 124 (1955)
- (8) R. C. Barker: Nonlinear Magnetism, Magnetic Amplifier Special Technical Conference Proceedings (1958) (A.I.E.E.)



UDC 621-503.2: 621-501.14: 621.375.13

## 遅延帰還の非線形理論 (続報)\*

資料・論文

35-116

正員 松 原 正 一†

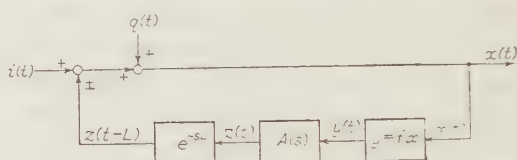
## 1. 緒 言

筆者はさきに非線形遅延帰還系における自励振動および過渡現象について論じ、特に2モードの双方に対して自励振動が存在しうるための条件および2モードの間におけるモードスイッチングの機構を明らかにした。<sup>(1)</sup> 本文においてはまずこの系に Asynchronous quenching をかけた場合における自励振動の抑制機構を調べてみた。Asynchronous quenching というのは相当古くから知られ、かつ理論的にも研究されていた現象のようであるが、比較的最近に至って Minorsky 氏<sup>(2)</sup> はこれに対して新しい立場から理論的考察を加えており、また Oldenburger 氏<sup>(3)</sup> はこれによって自動制御系の安定化をはかることを提案して、信号安定化 (Signal stabilization) と名づけている。非線形遅延帰還系に Asynchronous quenching をかけた場合についての解析としてはすでに南雲氏<sup>(4)</sup> によるものがあるが、これに対して筆者の方法すなわち拡張した記述関数と線形の場合における根軌跡とを補助として一種の位相面 Trajectory を描いてゆく方法を適用してみた。この方法によると一般的な場合についての取り扱いが可能であること、過渡現象をも求めること、および現象の物理的意味の理解が容易なことなどの特長がある。なおこの方法によって得た結果を南雲氏<sup>(4)</sup> の取り扱われた場合に適用してみた結果、よい一致がみられた。またケンチング信号が特に加えられてはいない場合に起きる諸現象の中にも Asynchronous quenching によるとみなされるものが多くあり、したがって非線形遅延帰還系を論ずるにあたっては、この概念がきわめて重要な役割を演ずる場合が多いことを指摘した。

次に系の周波数応答に対して非直線性および Asynchronous quenching が与える影響について調べ、なお前報<sup>(1)</sup> の所論の一部に対するいくつかの補足的な説明を付け加えた。

## 2. 系の構成

第1図に示すような構成を持つ系を考える。 $q(t)$  はケンチング信号、 $i(t)$  は入力信号またはモードスイッチングのための指令信号、 $x(t)$  は出力信号である。なお前向き要素を持つ系の場合も等価変換を行うことにより、その主要部をこの形にすることができる。 $A(s)$  は安定な集中定数の線形要素、 $y=f(x)$  は飽和要素であって、飽和特性は前報<sup>(1)</sup> に示した標準化された形の式で表わされるものとする。なお標準化さ



第1図 系の構成

れた  $x(t)$ ,  $y(t)$ , ... をそれぞれ  $\bar{x}(t)$ ,  $\bar{y}(t)$ , ... で表わすこととする。

ケンチング信号  $\bar{q}(t)$ 、入力信号  $\bar{i}(t)$ 、飽和要素への入力信号  $\bar{x}(t)$  はそれぞれ次の式で表わされるものとする。

$$\bar{q}(t) = c_q \sin(\omega_q t + \theta_q) \dots \dots \dots (1)$$

( $c_q, \omega_q$ : 正の定数)

$$\bar{i}(t) = c \sin \omega t \dots \dots \dots (2)$$

( $c, \omega$ : 正の定数)

$$\bar{x}(t) = c_1 \sin(\omega_1 t + \theta_1) + c_2 \sin(\omega_2 t + \theta_2) \dots (3)$$

( $c_1, c_2, \omega_1, \omega_2$ : 正)

ここで  $c_1, c_2, \omega_1, \omega_2$  は一般には時間  $t$  の関数であるものとしておく。ただし特に断わらない限り  $\bar{q}(t)$  を加えている場合は  $\omega_1 = \omega_q$  であり、 $\bar{i}(t)$  を加えている場合は  $\omega_2 = \omega$  であるものとする。

なお  $\omega_1, \omega_2$  は互に簡単な整数比をなさないものとし、したがって  $\bar{x}(t)$  が飽和要素を通過する場合における各周波数成分に対する拡張した記述関数  $N_1(c_1, c_2)$ ,  $N_2(c_2, c_1)$  は  $c_1, c_2$  のみの実関数であるとしておく。また  $\bar{y}(t)$  は  $\omega_1/2\pi, \omega_2/2\pi$  の奇数調波および混変調波を含むわけであるが、特に断わらない場合にはこれらは非常に小さいか、または  $A(s)$  をほとんど

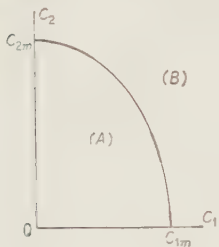
\* Non-linear Theory of Delayed Feedback (Sequel). By M. A. TSUBARA, Member (Faculty of Engineering, Ibaraki University).

† 茨城大学工学部助教授、電気応用講座担当

通過しえないものとして、その影響を無視することとする。

### 3. Asynchronous quenching による自励振動の抑制

(3・1) ケンチング信号が帰還されない場合  $i(t) = 0$  の場合に  $\bar{q}(t)$  が系の振動状態に与える影響について調べる。まず  $\bar{q}(t)$  が  $A(s)$  をほとんど通過しえないものとし、かつ、ある一つのモードの振動のみが存在する場合を考える。この場合には明らかに  $c_1 = c_q$ ,  $\omega_1 = \omega_q$ ,  $\theta_1 = \theta_q$  であり,  $c_2$ ,  $\omega_2$  はそれぞれこのモードの振幅, 角周波数であって, 時間  $t$  とともに変化してゆくこととなる。ところで  $c_1$  が一定なのであるから第2図のような位相面を考えた場合すべての Trajectory は横軸に垂直な直線である。ところで  $c_1$  が与えられれば Trajectory は直ちに定まるから, あらかじめ第2図の位相面上に  $g_2$  が一定の点の軌跡群および  $\omega_2$  が一定の点の軌跡群を描きこんでおけば, この Trajectory に時間目盛をつけることができ, 時間  $t$  の関数としての  $c_2$ ,  $\omega_2$  も直ちに求めることができる。



第2図 位相面

第2図において  $g_2 = 1$  の点の軌跡が曲線  $c_{1m}$   $c_{2m}$  であるものとすれば, これによって位相面は二つの領域 (A), (B) に分けられ, (A) 内では  $g_2 > 1$ , (B) 内では  $g_2 < 1$  である。したがって (A) 内の状況点は垂直上方に

向い, (B) 内の状況点は垂直下方に向うこととなる。そこで  $c_q < c_{1m}$  ならば系は自励振動状態となり,  $c_q \geq c_{1m}$  ならば振動は減衰して静止状態となる。なお線分  $0c_{1m}$  上の点で表わされる状態も一つの平衡状態と考えられるが, 不安定な平衡状態であるから, 実際の系では必ず存在する外乱のため, 結局自励振動状態に移行することとなる。

いま考えているモードのモード周波数を  $\omega_m/2\pi$  とすれば, 自励振動状態においては次の関係がなりたつ。

$$N_2(c_2, c_1) |A(j\omega_m)| = 1 \dots\dots\dots (4)$$

この (4) 式を用いれば,  $c_q$  が与えられた場合の自励振動の振幅  $c_2$  や第2図に示した  $c_{1m}$ ,  $c_{2m}$  の値を計算することができ, 特に  $c_1 + c_2 \leq 1$  が満足される場合については, これらはそれぞれ次のような簡単な式で与えられることとなる。

$$\left. \begin{aligned} c_2 &= \sqrt{4 \left( 1 - \frac{1}{|A(j\omega_m)|} \right) - 2c_q^2} \\ c_{1m} &= \sqrt{2 \left( 1 - \frac{1}{|A(j\omega_m)|} \right)} \\ c_{2m} &= 2 \sqrt{1 - \frac{1}{|A(j\omega_m)|}} - \sqrt{2} c_{1m} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

なお (5) 式はこの場合における第2図の曲線  $c_{1m}$   $c_{2m}$  が原点 0 を中心とする長径  $2c_{2m}$ , 短径  $2c_{1m}$  のだ円となることを示しており, 長径と短径との比は  $\sqrt{2}:1$  である。

南雲氏<sup>(4)</sup>は  $A(s) = G/(CRs+1)$  の場合を解析的な方法で取り扱っておられるが, (5) 式をこの場合に適用して南雲氏の結果と比較してみると, 飽和特性の表わし方の相違に起因するわずかな食い違いがみられるのみであって, 第2図の曲線  $c_{1m}$   $c_{2m}$  の形は全く同じであり, よい一致を示すことが確かめられた。

結局考えているモードの自励振動は  $c_q \geq c_{1m}$  が満足される場合に完全に抑制されるわけであるが, この状態においてはこのモードの振動に対して常に  $g_2 \leq 1$  (ただし等号は  $c_2 = 0$ ,  $c_q = c_{1m}$  のときにだけなりたつ) が満足されるはずである。すなわちこのモードの振動に対する  $A(s)$  の利得は 1 をこえるかも知れないが,  $c_q$  が充分大きいために  $N_2(c_2, c_1)$  は充分小さくなり, 全体の等価的なループ利得が 1 に達しないために自励振動が抑制されるものと考えられる。

(3・2) ケンチング信号が帰還される場合 ケンチング信号が  $A(s)$  を通過し, したがって入力側に帰還される場合は  $\omega_1 = \omega_q$  ではあるが, もはや  $c_1 = c_q$ ,  $\theta_1 = \theta_q$  なる関係はなりたたない。 $c_1$  は定常状態 (自励振動状態または振動がない状態) においては定数であるが, 過渡状態においては時間  $t$  の関数である。しかし  $c_1$  の時間的变化は小さいのが普通であると考えられるから, ケンチング信号が  $A(s)$  を通過する場合の利得は  $|A(j\omega_1)|$  であるとみなすことができ, したがって次の関係がなりたつ。

$$\begin{aligned} c_1 \sin(\omega_1 t + \theta_1) &= c_q \sin(\omega_1 t + \theta_q) \\ \pm N_1(c_1, c_2) |A(j\omega_1)| c_1 \\ &\times \sin\{\omega_1 t + \theta_1 - \omega_1 L - \arg A(j\omega_1)\} \dots (6) \end{aligned}$$

これから

$$\begin{aligned} c_1 \sqrt{1 \mp 2 N_1(c_1, c_2) |A(j\omega_1)| \cos\{\omega_1 L \\ - \arg A(j\omega_1)\} + N_1^2(c_1, c_2) |A(j\omega_1)|^2} \\ = c_q \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

ただし複号は第1図の加え合わせ点における加え合

せの符号と上下同順であるものとする。（以下においても特に断わらない限り同様である）(7) 式で示されるように  $c_1$  は  $c_q, \omega_1$  のみの関数ではなくて  $c_2$  の関数でもある。したがって過渡状態においては  $c_1$  が時間とともに変化することとなるのである。結局  $c_q, \omega_1$  が与えられた場合 (7) 式によって Trajectory の形が定まることとなり、それはもはや横軸に垂直な直線ではない。

特に  $\omega_1/2\pi$  が系のモード周波数または逆モード周波数<sup>(5)</sup>の一つと一致する場合には、(7) 式は次のように比較的簡単な形となる。

$$c_1\{1 \mp N_1(c_1, c_2) |A(j\omega_1)|\} = c_q \dots\dots (8)$$

さらに  $c_1 + c_2 \leq 1$  が常に満足される場合には (8) 式は次のようになる。

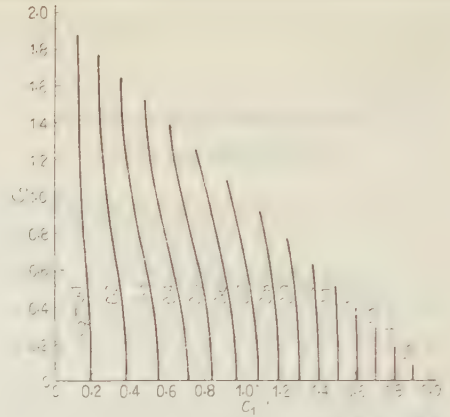
$$\begin{aligned} \frac{1}{4}c_1^3 + \frac{1}{2}c_1c_2^2 - \left(1 \mp \frac{1}{|A(j\omega_1)|}\right)c_1 \\ = \pm \frac{1}{|A(j\omega_1)|}c_q \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

ただし (8), (9) 両式において複号は  $\omega_1/2\pi$  が系のモード周波数の一つと一致するときに上号、逆モード周波数の一つと一致するときに下号をとるものとする。

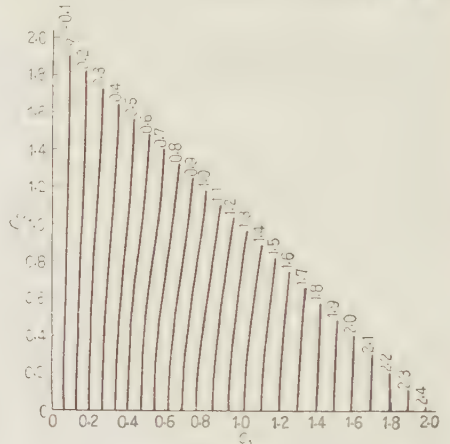
一例として  $|A(j\omega_1)| = 0.5$  で、かつ  $\omega_1/2\pi$  が系のモード周波数または逆モード周波数の一つと一致する場合について種々の  $c_q$  に対する Trajectory の形を求めてみると、第 3 図のようになる。

第 3 図において  $\omega_1/2\pi$  が系のモード周波数の一つと一致する場合の Trajectory の曲線は直線  $c_1 = c_q$  の右方にあらわれ、逆モード周波数の一つと一致する場合のそれは左方にあらわれる。またいずれの場合においても  $c_2$  が増すにつれて Trajectory の曲線は直線  $c_1 = c_q$  に漸近し、 $c_2$  が小さくなるにつれてこれから遠ざかっている。ここで直線  $c_1 = c_q$  はすでに述べたケンチング信号が帰還されない場合の Trajectory にほかならない。 $\omega_1/2\pi$  が系のモード周波数の一つと一致する場合は帰還されてくるケンチング信号は  $q(t)$  と同相になるから  $c_1 > c_q$  となり、逆モード周波数の一つと一致する場合は逆相となるから  $c_1 < c_q$  となるわけである。また  $c_2$  が大きい場合には  $N_1(c_1, c_2)$  が小さくなるからケンチング信号はほとんど帰還されなくなり、 $c_1 = c_q$  になりたつこととなるわけである。なお  $\omega_1/2\pi$  が系の相隣るモード周波数と逆モード周波数との中間の周波数である場合には、位相関係が上の二つの場合の中間となるから、Trajectory もほぼ中間の位置をとることになると考えられる。

以上に述べたように Trajectory の形はケンチング



(a)  $\omega_1/2\pi$  がモード周波数の一つに等しい場合



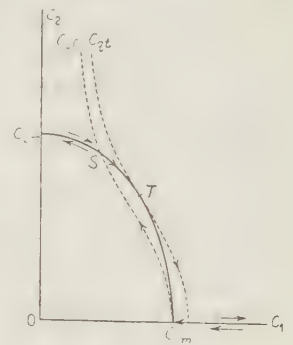
(b)  $\omega_1/2\pi$  が逆モード周波数の一つに等しい場合

第 3 図 Trajectory の形

信号が帰還されない場合と異なるものになるが、 $g_2$  が一定の点の軌跡群についてはなんにも変わらないはずである。そこで第 2 図の位相面において点  $c_{1m}$  を通る Trajectory が曲線

$c_{1m} c_{2m}$  と他に交点を持たない場合には、この Trajectory に対する  $c_q$  の値を  $c_{q0}$  とすると、 $c_q < c_{q0}$  ならば系は自励振動状態となり、 $c_q \geq c_{q0}$  ならば振動は減衰して静止状態となる。しかし第 4 図に示すように点  $c_{1m}$  を通る Trajectory が曲線

$c_{1m} c_{2m}$  ともう一つの交点  $S$  を持つ場合は曲線  $c_{1m} c_{2m}$  と点  $T$  において接するような Trajectory（これに対



第 4 図 ヒステリシスが生ずる場合



する  $c_q$  の値を  $c_{qt}$  としておく) が必ず存在し、 $c_q < c_{q0}$  ならば自励振動状態となり、 $c_q > c_{qt}$  ならば振動は減衰して静止状態となるが、 $c_{q0} < c_q < c_{qt}$  の場合には初期条件により自励振動状態になる場合と静止状態になる場合が生ずることとなる。そこで定常状態に達した後に  $c_q$  をゆっくり増減すれば第4図の中に矢印で示したようなヒステリシス現象が生ずるものと考えられ、自励振動の発生および停止はいずれも跳躍的に起きることとなる。 $\omega_1/2\pi$  が系のモード周波数の一つに等しいか、またはこれに近い場合には第3図(a)のように Trajectory のこう配が負となるから、第4図のような場合が生ずる可能性が大きいと考えられる。逆に  $\omega_1/2\pi$  が系の逆モード周波数の一つに等しいか、またはこれに近い場合には、このような可能性はほとんどないこととなる。

(3・3) 非線形遅延帰還系において起きる種々の Asynchronous quenching 以上においては特別に加えたケンチング信号による Asynchronous quenching について論じたが、ケンチング信号を加えない場合に起きる諸現象の中にも Asynchronous quenching とみなされるものが多くある。

まず第1図から明らかなように  $i(t)$  も  $\bar{q}(t)$  と全く同じ作用をするはずである。したがって自励振動周波数のいずれとも一致しない周波数を持つ振幅の充分大きい入力信号  $i(t)$  が常に加えられている系においては、特にケンチング信号を加えなくても自励振動は抑制されることとなる。また自励振動状態にある系では、振幅の充分大きい入力信号がはいってきたときだけ自励振動が抑制されることとなる。

自励振動状態にある系に指令信号を加えることによって、モードを切り換えることができるが、この場合今まで存在していたモードが減衰するのはやはり Asynchronous quenching によるものとみなすことができる。

このような系では複数個のモードが成長可能な場合であっても、系の非線形性のため結局そのうちのただ一つのモードのみが成長して、そのモードの自励振動状態となるが、これもモード相互間の Asynchronous quenching 作用に基づくものとみなすことができよう。すなわち Asynchronous quenching は帰還ループの外からはいつてくる信号によって起きるほかに、ループ内の振動相互間でも起きると考えられるのである。

このように Asynchronous quenching は非線形遅延帰還系に起きる諸現象において、きわめて重要な役割を演ずる場合が多いと思われるのであるが、これは非線形系においては広く現われる現象であって、遅延帰

還系に特有なものでは決していない。遅延帰還によるマルチモード発振においては二つ以上のモードで発振しうること、Asynchronous quenching が起きることがモードスイッチングを可能にしていると考えられるのであるが、後者は上に述べたように非線形要素が存在すれば起きるものであって遅延要素の存在は必要でない。一方、前者は帰還ループの数が1個に制限される場合には遅延要素の存在を必要とするが、帰還ループの数が2個以上であることが許される場合には遅延要素の存在を必要としない。したがって遅延要素を持たない2個以上の帰還ループが1個の非線形要素を共通に含むような系を構成すれば、やはりモードスイッチングの可能なマルチモード発振を起すことができると思われる。そしてこの場合、遅延時間が含まれないために切換え速度は非常に大きくなると考えられる。

#### 4. 周波数応答

非直線性および Asynchronous quenching が系の周波数応答におよぼす影響について調べてみる。

(4・1) 等価周波数伝達関数  $\bar{q}(t)$ ,  $i(t)$  を同時に加えるものとすれば  $\omega_1 = \omega_q$ ,  $\omega_2 = \omega$  となる。飽和要素は角周波数  $\omega$  の信号に対して  $N_2(c_2, c_1)$  なる伝達関数を持つ線形要素と等価であるとみなすことができるから、 $i(t)$  から  $\bar{x}(t)$  に至る等価周波数伝達関数は容易に得られ、次のようになる。

$$G(j\omega, c) = \frac{1}{1 \mp N_2(c_2, c_1) A(j\omega) e^{-j\omega L}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

これから

$$\begin{aligned} |G(j\omega, c)| &= \frac{1}{\sqrt{1 \mp 2 N_2(c_2, c_1) |A(j\omega)| \cos\{\omega L\}}} \\ &\quad \times \frac{1}{-\arg A(j\omega) \} + N_2^2(c_2, c_1) |A(j\omega)|^2} \quad \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

$\arg G(j\omega, c)$

$$\begin{aligned} &= \tan^{-1} \frac{\mp N_2(c_2, c_1) |A(j\omega)|}{1 \mp N_2(c_2, c_1) |A(j\omega)|} \\ &\quad \times \frac{\sin\{\omega L - \arg A(j\omega)\}}{\cos\{\omega L - \arg A(j\omega)\}} \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

一方、加え合わせ点においてなりたつ関係から次の式が得られる。

$$\begin{aligned} c_2 \sin(\omega t + \theta_2) &= c \sin \omega t \\ &\quad \pm N_2(c_2, c_1) |A(j\omega)| c_2 \\ &\quad \times \sin\{\omega t + \theta_2 - \omega L - \arg A(j\omega)\} \dots\dots (13) \end{aligned}$$

これから

$$\begin{aligned} & c_2 \sqrt{1 \mp 2 N_2(c_2, c_1) |A(j\omega)| \cos\{\omega L^* \\ & * - \arg A(j\omega)\} + N_2^2(c_2, c_1) |A(j\omega)|^2} \\ & = c \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

$c_q, c, \omega_q, \omega$  が与えられると (7), (14) 両式から  $c_1, c_2$  が定まる。そこで (10)~(12) 式の右辺から  $c_1, c_2$  を消去することができ、したがって  $c_q, \omega_q$  が一定ならばこれらは  $c, \omega$  の関数と考えられる。またこれらにおいて  $N_2(c_2, c_1) = 1$  とおけば線形の場合についてすでに得られている結果<sup>(5)</sup>と全く一致する。すなわちループ利得が  $N_2(c_2, c_1)$  倍された線形系の周波数応答と全く同じである。したがって線形の場合とはほぼ同様に利得特性はモード周波数の付近で極大、逆モード周波数の付近で極小となるような、くし歯状の特性を示し、位相特性はモード周波数と逆モード周波数において 0 となるような波状特性を示すものと考えられる。

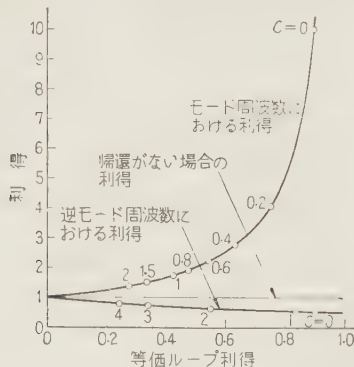
特にモード周波数  $\omega_m/2\pi$  においては

$$\begin{aligned} |G(j\omega_m, c)| &= \frac{1}{1 - N_2(c_2, c_1) |A(j\omega_m)|} \Bigg\} \\ c_2 \{1 - N_2(c_2, c_1) |A(j\omega_m)|\} &= c \end{aligned} \dots\dots\dots (15)$$

また逆モード周波数  $\omega_r/2\pi$  においては

$$\begin{aligned} |G(j\omega_r, c)| &= \frac{1}{1 + N_2(c_2, c_1) |A(j\omega_r)|} \Bigg\} \\ c_2 \{1 + N_2(c_2, c_1) |A(j\omega_r)|\} &= c \end{aligned} \dots\dots\dots (16)$$

ここで  $N_2(c_2, c_1) |A(j\omega)|$  は等価ループ利得である。モード周波数および逆モード周波数における利得と等価ループ利得との関係を図に示せば第 5 図のようになるが、これらはそれぞれ利得の極大値および極小



第 5 図 利得と等価ループ利得との関係

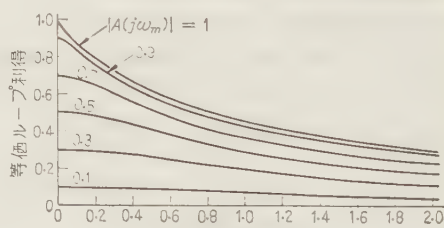
値にはほぼ等しいものとみなすことができる。

(4.2) 非直線性の影響  $N_2(c_2, c_1) < 1$  であるから (15), (16) 両式から明らかなようにモード周波数における利得は線形の場合よりも小さく、逆モード周波数における利得は大きいこととなる。また  $c$  が大きくなるほど  $c_2$  は大きく、 $N_2(c_2, c_1)$  は小さくなるから、モード周波数における利得はますます小さくなり、逆モード周波数における利得はますます大きくなって、いずれも帰還がない場合の利得 1 に向って近づくこととなる。結局、入力信号の振幅が大きくなればなるほど利得特性は平坦化することとなる。

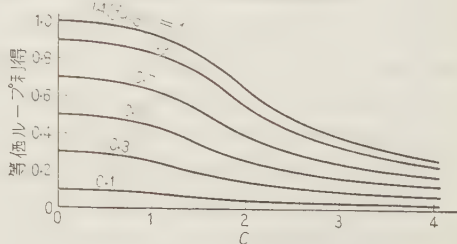
等価ループ利得  $N_2(c_2, c_1) |A(j\omega)|$  は  $c=0$  すなわち  $c_2=0$  のときに最大値をとる。したがって系が安定であるためには、すべてのモード周波数に対して

$$N_2(0, c_1) |A(j\omega_m)| \leq 1 \dots\dots\dots (17)$$

がなりたたなければならないが、 $N_2(0, c_1) |A(j\omega_r)|$  は 1 をこえていてもよい。 $|A(j\omega_m)|$  または  $|A(j\omega_r)|$  が与えられると、(15)式または(16)式の第 2 式によってモード周波数または逆モード周波数に対する等価ループ利得と  $c$  との関係が定まる。ケンチング信号を加えない場合について、この関係を求めてみると第 6 図のようになる。図のようにモード周波数における等価ループ利得は逆モード周波数におけるそれにくらべて  $c$  の増加につれて一般にすみやかに減少する。しかもすでに第 5 図から明らかなように、等価ループ利得の減少に伴うモード周波数における利得の減少の割合は、逆モード周波数における利得の増加の割合にくらべて著しく大きい。以上の結果として  $c$  が増加するに



(a) モード周波数の場合



(b) 逆モード周波数の場合

第 6 図 非直線性の影響

つれてモード周波数における利得は著しく、すみやかに減少するのに対して逆モード周波数における利得はきわめてゆるやかに増加することとなる。このように逆モード周波数における利得が  $c$  の変化によってあまり変わらないのは、この周波数における帰還が負帰還であることによるものと考えられる。一例として  $|A(j\omega_m)| = |A(j\omega_c)| = 0.9$  の場合における利得の変化の模様を第5図の中に示してある。

なお以上に述べたような利得特性の平坦化は当然位相特性の平坦化をも伴うこととなる。

(4.3) **Asynchronous quenching** の影響  $c_1$  をパラメータとした場合の  $c_2$  と  $N_2(c_2, c_1)$  との関係求めてみると第7図のようになり、 $c_1$  が大きい場合には  $c_2$  の変化による  $N_2(c_2, c_1)$  の変化が小さくなるのがみられる。したがって  $c_1$  が大きい場合には Asynchronous quenching が、系の周波数応答に対する非直線性の影響を打ち消すように作用することとなる。 $c_1$  を変えると  $N_2(0, c_1)$  の値も変わるが、同時に  $|A(j\omega)|$  を変えることによって  $N_2(0, c_1)|A(j\omega)|$  の値を一定に保つことができる。一例として、 $N_2(0, c_1) \times |A(j\omega_m)|$  または  $N_2(0, c_1)|A(j\omega_c)|$  を 0.9 に保

って種々の  $c_1$  に対する等価ループ利得と  $c$  との関係求めてみると、第8図のようになり、Asynchronous quenching をかけることによって  $c$  の増加に伴う等価ループ利得の減少が少なくなるのがみられる。等価ループ利得の減少が少なくなれば、当然モード周波数および逆モード周波数における利得の変化も少なくなるわけである。

## 5. 補 遺

前報<sup>(1)</sup>においてはモードの成長について論ずる場合、奇数調波の影響は無視しうるものとしたが、実際にはその影響が必ず多少なりともあらわれるはずである。またモードスイッチングについて論ずる場合に指令信号の周波数と切り換えようとするモードの周波数との差を無視しうるものとしたが、後者の周波数は時間とともに少しずつ変化してゆくものであるから、両者を常に一致させておくことは不可能であり、かつ前者の周波数をどの程度精密に調整する必要があるかという点にも関連してこの影響が相当問題となる。

しかしこれらの問題に対して適確な論議を加えることはいまのところ困難であって、ただこれらの影響がどのような形であらわれるかを明らかにしうることとどまる。なおその後ループ利得に変化を与えることによってモードスイッチングが可能であることが実験的に見出された。以下においてはこれらの点について補足的にふれておくこととした。

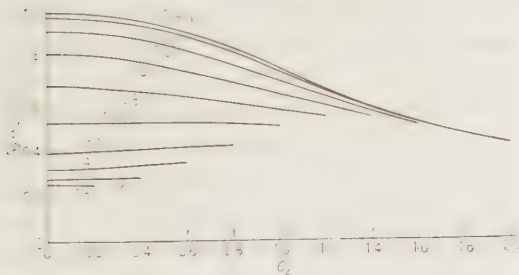
(5.1) モードの成長に対する高調波の影響 第1図において  $\bar{q}(t) = 0, \bar{i}(t) = 0$  であるものとする。まずある一つのモードだけが成長しうるものとすれば、その基本波が飽和要素を通過する際には奇数調波が発生し、特に第三調波の影響は基本波の振幅が大きく、かつ  $A(s)$  が第三調波をある程度通過する場合には無視しえなくなるものと考えられる。したがってこのような場合の振動状態は、次のように表わされることとなる。

$$\bar{x}(t) = c_1 \sin(\omega t + \theta) + c_3 \sin(3\omega t + 3\theta + \varphi) \\ (c_1, c_3, \omega > 0) \dots\dots\dots (18)$$

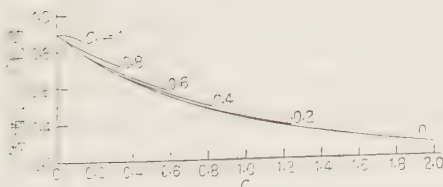
この場合基本波および第三調波に対する拡張した記述関数  $N_1, N_3$  は、いずれも  $c_1, c_3, \varphi$  の複素関係となるから、それぞれのループ利得は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} g_1 &= e^{\sigma_1 L} = |N_1(c_1, c_3, \varphi)| \cdot |A(\sigma_1 + j\omega)| \\ g_3 &= e^{\sigma_3 L} = |N_3(c_3, c_1, \varphi)| \cdot |A(\sigma_3 + j3\omega)| \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19)$$

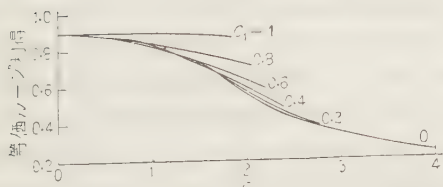
また基本波および第三調波が帰還ループを一周した場合に最初と同相とならなければならないから、



第7図  $N_2(c_2, c_1)$



(a) モード周波数の場合



(b) 逆モード周波数の場合

第8図 Asynchronous quenching の影響



$$\left. \begin{aligned} \omega L - \arg A(\sigma_1 + j\omega) \\ - \arg N_1(c_1, c_3, \varphi) = m\pi \\ 3\omega L - \arg A(\sigma_3 + j3\omega) \\ - \arg N_3(c_3, c_1, \varphi) = m'\pi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

ただし  $m, m'$  は加え合わせ点における加え合わせの符号が正の場合は偶数，負の場合は奇数であるものとする。

(20) 式の第1式から明らかなように  $N_1$  が複素関数である場合には，振動状態を表わす点は線形の場合の根軌跡から少しずれることになり，したがって自励振動の基本周波数もモード周波数から少しずれると考えられる。なお二つ以上のモードが成長しうる場合についても定性的には同様であると考えられる。

(5・2) **ずれた周波数を持つ指令信号によるモードスイッチング**  $\bar{q}(t)$  は加えないものとし， $i(t)$  はモードスイッチングを行うための指令信号であるとする。また  $\bar{x}(t)$  の二つの周波数成分  $\omega_1/2\pi, \omega_2/2\pi$  は系の二つのモードであるとして，それぞれをモード I，モード II と呼ぶことにする。指令信号  $i(t)$  として次のような信号を加えるものとする。

$$i(t) = \begin{cases} c \sin(\omega t + \theta) & (0 < t < t_1) \\ 0 & (t_1 < t < \infty) \end{cases} \dots\dots\dots (21)$$

ただし  $\omega/2\pi$  はモード I，II のいずれのモード周波数とも一致しないものとしておく。いま簡単のため系を線形化して考えることとし，(21) 式の信号に対する飽和要素の等価伝達関数を  $N$  で表わすこととする。実際には  $N$  は時間とともに変化するはずであるが，その時間的変化の割合が小さい場合には，その影響を無視しうることとなる。またモードが切り換わるかどうかは指令信号を停止した瞬間における系の状態によって定まるものであるから，いまはこの瞬間における状態を調べればよく，その瞬間においては  $N$  がある一定値を持つものと考えることができる。以上の仮定のもとに (21) 式の入力信号に対する出力信号を計算してみると次のようになる。

$$\begin{aligned} \bar{x}(t) &= C \sin(\omega t + \theta + \varphi) \\ &\mp \sum_{k=1}^{\infty} C_k(\theta) e^{\sigma_k t} \cos\{\omega_k t + \varphi_k(\theta)\} \\ &\quad (0 < t < t_1) \dots\dots\dots (22) \\ \bar{x}(t) &= \mp \sum_{k=1}^{\infty} C_k(\omega t_1 + \theta) e^{\sigma_k(t-t_1)} \cos\{\omega_k(t-t_1) \\ &\quad + \varphi_k(\omega t_1 + \theta)\} \mp \sum_{k=0}^{\infty} C_k(\theta) e^{\sigma_k t} \\ &\quad \times \cos\{\omega_k t + \varphi_k(\theta)\} \quad (t_1 < t < \infty) \dots\dots\dots (23) \end{aligned}$$

ここで

$$\begin{aligned} C &= \frac{c}{\sqrt{1 \mp 2N|A(j\omega)| \cos\{\omega L - \arg A(j\omega)\} \\ &\quad * - \arg A(j\omega)\} + N^2|A(j\omega)|^2}} \\ \varphi &= \tan^{-1} \frac{\mp N|A(j\omega)| \sin\{\omega L - \arg A(j\omega)\}}{1 \mp N|A(j\omega)| \cos\{\omega L - \arg A(j\omega)\}} \\ C_k(\theta) &= \frac{2\sqrt{(\omega \cos \theta + \sigma_k \sin \theta)^2}}{N|A'(\sigma_k + j\omega_k) - LA(\sigma_k + j\omega_k)|} * \\ &\quad * \frac{+\omega_k^2 \sin^2 \theta \, c e^{\sigma_k t}}{\times \sqrt{(\sigma_k^2 + \omega^2 - \omega_k^2)^2 + 4\sigma_k^2 \omega_k^2}} \\ \varphi_k(\theta) &= \omega_k L + \tan^{-1} \frac{\omega_k \sin \theta}{\omega \cos \theta + \sigma_k \sin \theta} \\ &\quad - \tan^{-1} \frac{2\sigma_k \omega_k}{\sigma_k^2 + \omega^2 - \omega_k^2} \\ &\quad - \arg\{A'(\sigma_k + j\omega_k) - LA(\sigma_k + j\omega_k)\} \\ &\quad \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

また  $\sigma_k \pm j\omega_k (k=1, 2, \dots)$  は特性方程式  $1 \mp N \cdot A(s) \times e^{-sL} = 0$  の根であるが，すべて単根であって，かつ  $\sigma_k < 0, \omega_k > 0$  であるものとしておく。 $\omega_k/2\pi$  は自然モード周波数<sup>(5)</sup>と呼ばれているものであるが，特に  $\omega_1/2\pi, \omega_2/2\pi$  はそれぞれモード I，II の自然モード周波数であるとしておく。(22) 式からわかるように指令信号が加えられている期間においては， $\bar{x}(t)$  は指令信号周波数の成分とすべての自然モード周波数の成分とからなっており，後者は時間とともに減衰する。なお最初系がモード I の自励振動状態にあったものとすれば，この振動が Quench されて減衰するにしたがって (22) 式中の  $N$  は大きくなってゆくはずである。また (22) 式はモード I の振動成分をも含んでおり，特に  $\omega$  が  $\omega_1$  に近い場合はこれが初期においてかなり大きくなると考えられるから，初期においてはモード I の振動がある程度助長される場合もありうると考えられる。しかし指令信号を充分長い時間加える場合は，結局指令信号周波数成分のみが最後に残ることになると考えられる。

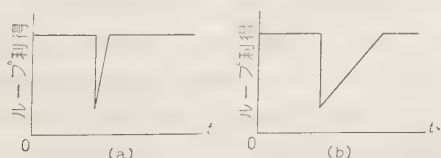
次に指令信号停止と同時に (22) 式の右辺第1項は消失して (23) 式の右辺第1項がその代わりに現われるが，右辺第2項はそのままの形で残る。すなわち指令信号を停止すると同時に指令信号周波数成分は消失してすべての自然モード周波数成分が残ることとなる。以後モード I または II が成長していずれかの自励振動状態に移行するはずであるから，(23) 式は以後における状態を正確には表わさないが，指令信号停止の瞬間の状態はほぼ正確に表わしていると考えられる。

指令信号を停止してから時間  $L$  が経過するまでの期間においては帰還されてくる信号にはまだ影響があらわれないものと考えられるから、指令信号が充分長い時間加えられていたものとする、この期間における  $\bar{x}(t)$  の値は (22) 式の右辺第 1 項から  $c \sin(\omega t + \theta)$  を差し引いたものに等しいと考えられ、その振幅は容易に求められる。そしてこの振幅に対する飽和要素の記述関数の値が指令信号停止直後における  $N$  の値であると考えられる。そしてこの  $N$  の値を (23), (24) 両式に入れば、このときにおける周波数スペクトルすなわち系の状態を求めることができる。(23), (24) 両式からわかるように  $\omega$  が  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  の付近にある場合にはすべての自然モード周波数成分のうちでモード I, II に対するものが特に大きいと考えられる。そこでモード I, II に対する位相面上に一点を定めることができ、以後における系の状態が直ちに求められる。

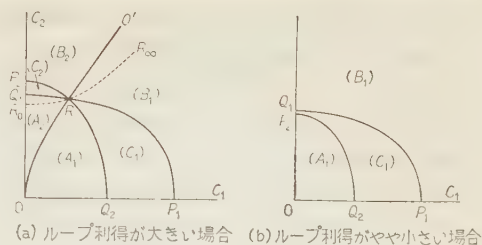
結局、指令信号の周波数がモード II のモード周波数から相当ずれていてもそのずれがある限度以内ならば切り換えが可能であることとなる。ただしそのずれが大きければ大きいほど切換え速度は遅くなると考えられる。また指令信号を充分長い時間加え、かつ指令信号の周波数がモード II のモード周波数に正確に一致していたとしても、(23) 式からわかるように指令信号停止直後においては他のすべてのモードの成分が必ずあらわれることとなる。

(5.3) 利得変化によるモードスイッチング 二つのモード I, II において自励振動が起りうる系において、ループ利得を小さい値から上げていって自励振動を起してみると、利得の上昇速度によってたとえばその速度が小さいときにはモード I の自励振動状態となり、大きいときにはモード II の自励振動状態となるというような現象を実験中に見出した。この現象を利用すれば自励振動状態にある系において、そのループ利得を第 9 図の (a) および (b) のように変化させることにより、モードスイッチングを行うことが可能であると考えられる。

次に上述の現象が起きる機構を明らかにしておく。第 10 図はこの二つのモードに対する位相面であって、 $P_1Q_1$ ,  $P_2Q_2$  はそれぞれ  $g_1=1$ ,  $g_2=1$  の点の軌跡であ



第 9 図 利得変化によるモード  
スイッチング



第 10 図 位 相 面

る。いま (a) 図の状態からはじめてループ利得を増してゆくと、点  $R$  は曲線  $RR_\infty$  に沿って  $R_\infty$  のほうに移動しループ利得を減じてゆくと曲線  $RR_0$  に沿って  $R_0$  のほうに移動する。さらにループ利得を減ずれば、まず (b) 図のように点  $R$  したがって曲線  $OR_0'$  がなくなり、次には曲線  $P_2Q_2$  がなくなり、最後には曲線  $P_1Q_1$  もなくなる。そしてこの状態ではモード I, II のいずれの振動も成長しえない。

いまループ利得をきわめて小さい値から増してゆくとまず曲線  $P_1Q_1$  があらわれるが、この状態ではモード I の振動のみが成長可能であるから、状況点は点  $P_1$  に向って移動しはじめる。次に (b) 図の状態となれば点  $P_2$  があらわれるが、この点の状態は不安定であった<sup>(1)</sup>から、状況点は依然として点  $P_1$  に向って移動し続ける。次に (a) 図の状態となって点  $R$  があらわれ、さらに点  $R$  が曲線  $R_0RR_\infty$  に沿って  $R_\infty$  のほうに向って移動しはじめるから、曲線  $OR_0'$  が状況点の後を追って移動することとなる。この場合ループ利得の上昇速度が大きいと状況点は曲線  $OR_0'$  に追いついてしまうから、逆に点  $P_2$  に向うようになり、上昇速度が小さいときはそのまま点  $P_1$  に向うこととなる。したがって上述のような現象が起きることとなるのである。

## 6. 結 言

本文においては非線形遅延帰還系において Asynchronous quenching が重要な役割を演ずる場合が多いことを特に強調した。

この研究は東京大学南雲仁一博士のご研究からヒントを得た点が非常に多く、かつ有益なご助言をいただいたことにより、ここに厚くお礼申し上げます。なお有益なご討論をいただいた通信学会非直線理論委員会の方々および日頃ごべんたつを賜わっている本学兼先覚二郎教授に対しても深く謝意を表します。(昭和 35 年 3 月 16 日受付, 同 8 月 25 日再受付)

## 文 献

- (1) 松原: 電学誌 80, 271 (昭 35)
- (2) N. Minorsky: Journal of The Franklin Institute 259, 209 (1955)
- (3) R. Oldenburger: 自動制御 4, 155 (昭 32)
- (4) 南雲: 通信学会非直線理論委員会資料 (昭 35-1)
- (5) 松原: 電学誌 79, 1151 (昭 34)

UDC 53.081.4; [531.711+531.761+537.721-33: 539.15.06]

# 原 子 単 位

## 原 宏†

技術綜説

35-12

### 1. ま え が き

多種類の量を整理した場合に、長さ( $L$ )、質量( $M$ )、時間( $T$ )、電気に関する量〔たとえば電流( $I$ )〕の4種の量が基本量として選ばれている。基本量として選ばれるためには、それらが互に独立で、かつそれらを組み合わせて他の諸量を導くに必要かつ充分でなければならないことはもちろんであるが、さらに、(i) 理論たとえば力学、電磁気学にあらわれる基礎的な量と簡単な関係にあること、(ii) 精密に測定しやすい量であること、(iii) 簡単に標準器により単位を明示できて、その標準器は製作法のいかんによらず同じ値を示し(再現性)、年月とともにできるだけ変化しないこと(安定性)、などが要求される。 $LMTI$ 系はこれらの条件を満足しているが、完全であるとはいいがたい。第1表に現在の基本単位の測定精度と安定度についての概略の値を掲げた。<sup>(1)</sup>

第1表 現在の標準の精度

単 位	定 義	精 度	比較測定 の 精 度	安 定 度
質 量	キログラム原器 (セーブル)	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-9}$	50 年に $2 \times 10^{-8}$ 以下
長 さ	メートル原器 (セーブル)	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	60 年に $3 \times 10^{-7}$ 位
時 間	地球の自転	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-10}$ (水晶時計)	100 年に $5 \times 10^{-8}$ 年間変動 $1 \times 10^{-8}$

このように、安定度がいろいろいわれるようになったのは、一面、測定精度がこれら標準器の安定度を問題とするほどに向上してきたことを意味する。その苦しい例は長さと時間の標準である。すなわち地球の自転は安定でないことが水晶時計によって検出されている。さらに近年、原子時計の進歩によって、経年変化のない時間標準が実現されようとしている。また選ばれたスペクトル線の波長を単位として長さを測定すれば、メートル原器を標準として測定するより良い精度が得られるし、かつ光の波長は年月とともに変化することはないと考えられる。このように少なくとも長さと時間については、分子あるいは原子的な現象に基づいて単位を定めたほうが、安定度においても測定精度においても現行の方法よりもすぐれていることが明らかになってきた。電気とか質量ではどうであろうか。残念ながらまだ現行の標準を追い越す程度には達して

いないし、特に質量については全くその芽ばえもない。

しかし単位に要求されるもっとも重要なことがらは再現性と安定度であるから、原子的な現象に基づいた単位、すなわち原子単位を定義することができるならば、という希望は強いのである。

一方において、いわゆる物理定数の精密測定は戦後著しい発展をとげた。これらの研究は直接には単位の定義に結びつけて行われたのではないけれども、原子単位という立場から眺め直すと有力な基地である。

### 2. 原 子 単 位 の 現 状

現在のところ、いわゆる物理定数つまり原子的、分子的現象の定数が年月とともに不変であることを疑う根拠はない。そこで物理定数のうちで特に精度高く測定できる量を、いわば標準器と考えて現在の標準(物質標準と呼ばれる)におきかえるという考え方が出てくる。その例はアメリカ National Bureau of Standards (NBS) の Huntoon および Fano 氏<sup>(2)</sup>の提案である。すなわち

(i) Atomic meter Hg<sup>198</sup> の 5,461 Å 線を長さの基準にする。

(ii) Atomic second アンモニアの 23,870 Mc 線による原子時計を時間標準にする。

(iii) Atomic ampere 陽子の Gyromagnetic ratio ( $\gamma_p$ ) に基づいて電流標準を定義する。

これらの量は第一に本質的に年月とともに変化せずまた天災によっても破壊されないという基本単位に必須の性質において現在の物質標準にまさっており、第二にこの方面の測定がさらに精密化して、ついには現在の定義の精度を追い越す可能性が見える。

(2.1) 長さの光波基準<sup>(3)~(5)</sup> カドミウムの 6,438 Å 線をメートル原器と比較して、その波長を決めることが戦前各国で行われた。<sup>(6)</sup> その平均は

$$\lambda = 6,438.4696(1 \pm 1.4 \times 10^{-7}) \text{ (Å)}$$

である。メートル原器に刻まれた刻線の幅や非直線性を考えるとき、メートル原器相互の比較測定の確度は  $\pm 1 \times 10^{-7}$  程度と考えられ、Cd 6,438 Å 線の波長測定の確度は、戦前すでにメートル原器を標準としては到達しうる限度にきている。

天然の Cd ランプの 6,438 Å 線で干渉計によって

† 電気試験所



直接測定しうる長さは約 15~20 cm である。この限度はスペクトル線の幅によって決められる。幅を生ずる原因は、(1) 自然幅、(2) ドプラ幅、(3) 超微細構造、(4) 同位元素の存在による超微細構造、(5) 放電の起っている圧力と電流密度などが考えられる。

(1) は通常主要の原因ではない。(2) はきわめて重要であり、この原因による幅は  $\sqrt{T/M}$  に比例する。ただし  $T$  は放電の温度、 $M$  は問題の原子の質量である。(3) も重要であるが、放電原子の核がスピンをもたない場合には超微細構造はない。(4) は単一同位元素を使用することによりさけることができる。(5) はランプの使用状態を限定する。結論として、核スピンをもたない、できるだけ重い単一同位元素を低い温度、(すなわち蒸気圧の高いガスを使用する) 低い圧力、電流密度で使用すればよい。戦時中から戦後にかけてドイツ PTB で  $\text{Kr}^{84}$  および  $\text{Kr}^{86}$  の分離が熱拡散により行われ、またアメリカにおいて  $^{79}\text{Au}^{197} + \alpha n^1 \rightarrow ^{76}\text{Au}^{118} \rightarrow ^{80}\text{Hg}^{198} + \beta^-$  なる核変換により  $\text{Hg}^{198}$  が分離された。 $\text{Kr}^{86}$ 、 $\text{Kr}^{84}$  および  $\text{Hg}^{198}$  は核スピンをもたない。そのほかソ連では  $\text{Cd}^{114}$  を質量分析の方法で分離することに成功した。これら各種のランプの性質の比較を第 2 表に示す。

第 2 表 各種光源の特徴

ラ ン プ	スペクトル線 (Å)	温度 (°K)	可干渉距離 (cm)
Cd マイケルソン形	6,438	570	~20
$\text{Cd}^{114}$ 無電極	"	550	~30
$\text{Hg}^{198}$ 無電極 (Meggers ランプ)	5,461	273	50
$\text{Hg}^{198}$ Hollow cathode	"	78	65
$\text{Kr}^{86}$	6,056	63 (窒素三重点)	80
$\text{Kr}^{84}$	9,856	"	100
$\text{Hg}^{198}$ 予 線	2,537	"	(500)

$\text{Hg}^{198}$  ランプの製作にあたっての波長の再現度は  $1 \times 10^{-8}$  を確保することは困難であるが、 $\text{Kr}^{86}$  ランプにおいては比較的容易である。その他の比較からみて  $\text{Kr}^{86}$  ランプが Meggers ランプより決定的にすぐれていることが確認されてきた。

各種同位元素ランプの発展に伴ない 1952 年の国際度量衡委員会が「メートルの定義に関する諮問委員会」ができ、光波基準への変更の意思を明らかにした。その第 2 回の会合が 1957 年 9 月開催された。この諮問委員会で採択された勧告はおよそ次のとおりである。

「メートルは  $\text{Kr}^{86}$  原子のエネルギー準位  $2p_{10}$  と  $5d_5$  との間の遷移に対応する光波によって定義されるべきである。メートルは、この光波の真空中の波長の 1,650,763.73 倍に等しいと定義されるべきである」

第 3 表に  $\text{Kr}^{86}$  および  $\text{Hg}^{198}$  の各種波長の精密波長

測定の結果を示して光波基準の精度の参考に供する。

光波基準は原子単位による基本単位の定義を変えることの動きとしては最初のものである。1957 年の諮問委員会の勧告に基づいて 1960 年 10 月の国際度量衡総会でメートル原器は  $\text{Kr}^{86}$  の 6,056 Å 線におきかえられた。この定義変えにより、われわれはどんな災害や変化にもたえる基本単位の最初のを所有することとなった。

光波基準に関連しては Atomic beam 光源の研究を除外することはできない。<sup>(5)</sup> 原子線のビームをつくると、その運動方向と直角方向の速度成分をもたない。

第 3 表  $\text{Kr}^{86}$  および  $\text{Hg}^{198}$  各スペクトル  
真空波長測定値

研究所名	BIPM	PTB	NPL	CII	NRC		平均
使用した干渉計	マイケルソン	マイケルソン	ファブリペロー	ファブリペロー	(1) マイケルソン (2) ファブリペロー		
$\text{Kr}^{86}$	0.565 112	86 <sub>0</sub>	88 <sub>2</sub>	86	86	(1) 82 (2) 82	86
	605 786	21 <sub>1</sub>	23 <sub>3</sub>	21	21	19 21	21
	645 807	20 <sub>0</sub>	22	15	25	16 18	20
$\text{Hg}^{198}$	546 227	07 <sub>3</sub> * 06 <sub>6</sub> **	09	07	08	04 04	07
	577 119	84 <sub>5</sub> * 85 <sub>1</sub> **	87	85	84	78 79	84
	579 226	83 <sub>1</sub> * 84 <sub>6</sub> **	"	"	86	80 83	85

\*: NRC のランプ (アルゴン 0.5~1 mmHg, 20°C)

\*\* : NBS のランプ (アルゴン 3 mmHg, 0°C)

BIPM: 国際度量衡局 (セーブル)

PTB: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (西ドイツ)

NPL: National Physical Laboratory (イギリス)

CII: 中央計量検定所 (日本)

NRC: National Research Council (カナダ)

これに直角に電子ビームをあて原子線を発光させて、両者に直角方向から観察すればドプラ効果はない。

この原子線光源は  $\text{Hg}^{198}$  を用いてアメリカ NBS で、 $\text{Kr}$  を用いてカナダ NRC で研究が行われ、 $\text{Hg}$  原子線の場合、半幅  $0.002 \text{ cm}^{-1}$ 、可干渉距離 500 cm に達する。しかし強度が弱いこと、観察方向により波長が異なること、装置が複雑なことなどのために、メートルを定義するには不相当であると考えられている。しかしこの方面の技術の今後の進歩は注目に値する。

(2・2) 原子時計 時間の単位は地球の公転に基づく暦表時が 1956 年の国際度量衡委員会で採択され、日常の用には、恒星時を水晶時計で内そうした世界時 (UT 2) が用いられ、 $1 \times 10^{-9}$  の精度が得られている。<sup>(6)</sup> UT 2 と暦表時との関連づけには長期にわたる天文観測が必要である。1949 年アメリカ NBS の Lyons 氏らによって完成をみた原子時計は、その後の発展が著しく、アンモニア吸収形から Cs 原子線形、アンモニアメーザ形へと急速に発展した。このような背

景のもとに 1957 年 6 月「秒の定義に関する諮問委員会」が開催され、<sup>(7)</sup> 暦表時を原子時計でおきかえることを議論した。そして原子時計の名称を“周波数原子標準”と定めた。なお UT2 と原子時計とに喰い違いの存在すること、原子時計では Cs 時計がもっともすぐれていること、などが明らかにされたが、天文時と原子時の比較を数値的に確立する必要があるとして、周波数原子標準の採択は見送りとなった。

(a) アンモニア吸収形 これはアンモニア  $\text{NH}_3$  分子の回転状態 ( $J=3, K=3$ ) における反転振動を利用するもので、周波数にして 23,870.130 Mc である。この振動スペクトルも光波基準のところで述べたと似た原因により 100 kc 程度の線幅を生ずる。その吸収線中心周波数の測定精度は  $1 \times 10^{-9}$  程度である。ところがガス圧力を高めると、中心周波数が高くなるし、不純物が混入すると中心周波数は無視しえない程度移動する。これらの難点のため、Cs 原子線時計、アンモニアメーザにその席をゆずった感がある。

(b) Cs 原子線時計<sup>(9)~(11)</sup> Cs 原子線時計を最初に発表したのは、NBS の Lyons 氏ら (1952) である。その後イギリス NPL の Essen 氏らが精密化して実験を行い、その確度は  $1 \times 10^{-9}$  以上、運転の精度は  $2 \times 10^{-10}$  以上と称される。アメリカにおいては Cs 時計は Atomichron という名称で市販されている。

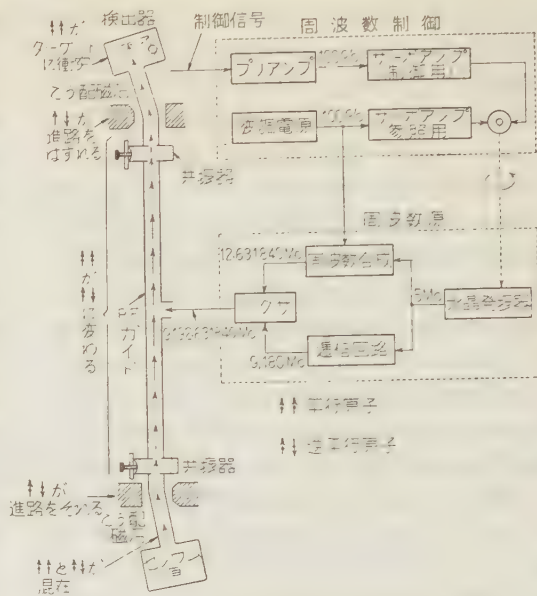
さて Cs は重量数 133、天然の状態で同位元素的に純粋で、1 個の価電子のスピン  $S=1/2$  と核スピン  $I=7/2$  との相互作用で超微細構造を示す。 $I$  と  $S$  が平行および逆平行な準位間の遷移のうちの一つに対応する電磁波の周波数  $\nu$  は、磁界  $H$  のもとで  $\text{Cs}^{133}$  の場合

$$\nu = \Delta\nu + 427 \text{ H}^2$$

とかかれる。ゆえに  $\nu$  の測定値を  $H \rightarrow 0$  に外そうすれば、原子定数  $\Delta\nu$  (Fine structure separation) に基づいた周波数標準を得る。Essen 氏はこれを測定して

$$\Delta\nu = 9,192,631,830 \pm 10 \text{ c/s}$$

を得ている。第 1 図には Atomichron の模型図を示しておく。Cs は熱せられてビームとなって第 1 の磁極間げきに向う。こう配磁界のために平行原子のみが RF ガイドの中に進行しう。この RF ガイドに  $\nu$  の周波数の電磁波を導入すると、いわゆる誘導放射のために平行原子は逆平行状態に変わる。この度合は  $\nu$  が  $\nu$  に等しいときに最大であり、第 2 図に示すようにその共振の  $Q$  は  $10^8$  (半幅 340 c/s) に達する。<sup>(9)</sup> RF ガイドを出てくる平行原子を第 2 のこう配磁石によってふるいわけ、その個数を検出して共振点を見る。



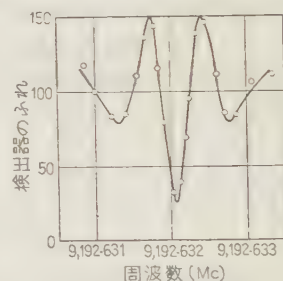
第 1 図 Atomichron 模型図

周波数誤差の原因として、(1) 共振器の調整が悪いと共鳴線は非対称となり、周波数変化を起す。(2) RF ガイドに導入する RF パワによっても周波数変化が起る。<sup>(3)</sup> 最後に電子回路部によっても周波数変化が起る。<sup>(11)</sup>

興味ある実験として 3 台の Atomichron を NPL に持参して NPL の Cs 時計との比較を行い、上記 3

種の原因による誤差を解析している。その結果を第 4 表に示す。この実験の結果として、(1) Atomichron 相互では周波数は  $5 \times 10^{-11}$  ままで一致する。(2) 1 台の Atomichron の安定度は  $2 \sim 3 \times 10^{-11}$  である。(3) Atomichron の周波数は NPL の周波数より約  $3.5 \times 10^{-10}$  だけ高い。(4) 補正可能な誤差を差し引くと、Atomichron は NPL より  $1.5 \times 10^{-10}$  だけ高い。また Atomichron 相互では差は検出できない。以上のような結果で、Cs 時計については大約  $1 \times 10^{-10}$  の確度と安定度を期待してよいようである。

(c) メーザ<sup>(10)(12)(13)</sup> 一般にメーザといわれているもののうちで、周波数標準に使用されるのはア



共鳴の谷の深さは全出力電流の約 1/8,  $H=0.71 \text{ Oe}$

第 2 図 Cs ビーム検出器の出力電流

第 4 表 Atomichron と NPL Cs 時計  
の相互比較 (単位  $1 \times 10^{-11}$ )

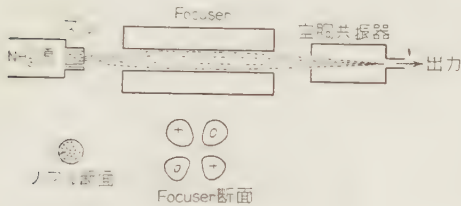
誤差の原因	周波数誤差			
	Atomichron # 111	# 117	# 857	NPL
回路による誤差	+8±4	+6±4	+20±4	0 (参照)
非対称による誤差	-3±7	-16±7	0±7	-10±10
RF パワによる誤差	+4±2	+9±2	0±2	0±5

誤差補正後の差 # 111-NPL=2.2±1.4×10<sup>-10</sup>

# 117-NPL=2.2±1.4×10<sup>-10</sup>

# 857-NPL=1.5±1.4×10<sup>-10</sup>

注: # 857 は実験用につくられた特別のもので # 111, # 117 は市販用のものであった。



第 3 図 メーザ原理図

ンモニア分子線メーザである。原理図を第 3 図に示す。吸収形と同様  $J=3, K=3$  の二つの反転準位が主役を演ずる。NH<sub>3</sub> 源からノズルを通して吹き出したビーム中の高い反転準位にある分子のみが、4 重極電界を発生する Focuser によって集束され、空洞共振器に進み、そこにある雑音電界によって誘導放射し低い準位にうつる。これもビーム形であるので、ドプラ幅と衝突幅は大幅に軽減されている。メーザを発振器として使用する場合、その中心周波数  $\nu_0$  および線幅  $\delta\nu$  は

$$\nu_0 = \nu_B + \frac{\Delta\nu_B}{\Delta\nu_C} (\nu_C - \nu_B)$$

$$\delta\nu = 8\pi kT(\Delta\nu_B)^2/P_B$$

ただし、 $\nu_B$ : 反転周波数、 $\nu_C$ : 空洞の周波数、 $\Delta\nu_B$ : 反転スペクトルの幅、 $\Delta\nu_C$ : 空洞の同調幅、 $P_B$ : ビームからの出力

一般の運転状態で SN 比  $\approx 10^4$ ,  $\nu_B/\delta\nu \approx 10^7$  に達し Cs 時計の信号の SN 比  $\approx 100$ ,  $\nu/d\nu \approx 3 \times 10^8$  にくらべ、分解能は高い。しかし  $\nu_0$  は  $\nu_B$  すなわち分子の定数とは等しくなく、また 3.3 line ( $J=3, K=3$ ) は Focuser 電圧によって周波数が変化し、NH<sub>3</sub> 源の圧力でも変化することが測定されている。<sup>(14)</sup> さらに空洞の中での放射の不均一によるドプラ効果のための Shift が  $10^{-9}$  に達するものと推測されている。

以上のため再現性において目下 Cs 時計に劣る。測

定された周波数の例を下記に示す。<sup>(12)</sup>

$$\nu_0 = 23, 870, 129, 007 \pm 10 \text{ c/s precision} \\ \pm 100 \text{ c/s accuracy}$$

この例では測定のくり返し精度は  $4 \times 10^{-10}$  に達するにもかかわらず、系統誤差はその 10 倍に達すると評価されている。

### 3. 電気単位分野における発展

電気単位分野では、原子単位的なものを単位の維持に用いようとする試みがなされている。

(3.1)  $\gamma_p$  の絶対測定<sup>(15)~(17)</sup> 陽子は角運動量  $hI(I=1/2)$ , 磁気効率  $\mu_I$  を有する。 $\gamma_p = \mu_I/hI$  を Gyromagnetic ratio と呼ぶ。

陽子が一様な磁界  $H$  の中におかれ磁気効率  $\mu_I$  の方向が  $H$  に対して傾いていると  $\mu_I$  は  $H$  との傾きを一定に保ったまま  $\omega = \gamma_p H$  の角周波数で  $H$  のまわりに首ふり運動を行う。そして  $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\gamma_p H}{2\pi}$  を才差周波数と呼ぶ。第 4 図で  $H$  と直角方向にコイルをおくと、コイルの両端には周波数  $f$  の電圧が誘起される。すなわちこの種の

実験で  $H$  と  $\omega$  の両者を基本単位に基づいて測定すれば  $\gamma_p$  の絶対測定となる。共鳴中心周波数の測定は  $1 \times 10^{-6}$  より良い精度で行えるので、 $\gamma_p$  の絶対値を知れば精密な磁界測定に有力な手段を与える。

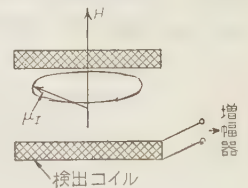
のみならずははっきりと寸法のわかったコイルに電流を流して磁界をつくると、電流の値を測定できる。代表的な  $\gamma_p$  の絶対測定は 2 回いづれも NBS で行われた。

NBS 第 1 回<sup>(15)</sup>の測定では 4,700 Oe の電磁石の中で核磁気共鳴法により約 20 Mc の共鳴信号を得た。中心周波数の測定は 4 ppm の誤差で決定できた。誤差の大部分をなしたのは磁界測定に伴うものである。方法としては寸法既知のガラスわくに巻いたコイルを磁極間げきに入れ、既知の電流を流して作用する力をてんびんで測定したのであるが、これを第 5 図に示す。この手続きはきわめて複雑である。結果は今日もよく使用されている。

$$\gamma_p = (2.67523 \pm 0.00006) \times 10^4 \text{ s}^{-1} \text{Oe}^{-1}$$

である。

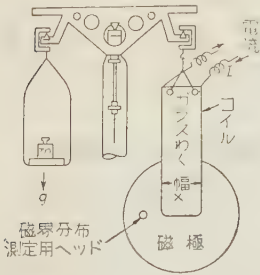
NBS の第 2 回<sup>(16)</sup>の測定は予備的な結果が 1958 年に発表されている。これは低い磁界中での自由首ふり



第 4 図  
核磁気効率の首ふり運動とその検出原理図



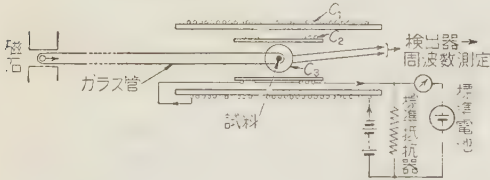
運動の周期測定を行ったものでその概略を第6図に示す。コイル  $C_1$  は精密に加工され寸法が測定されている、その大きさは長さ 100 cm, 直径 28 cm, ピッチ 1 mm である。1 A の電流で約 .12 Oe の磁界を生ずる。 $C_2$  は  $C_1$  による磁界の不均一を補正するコイルであり、 $C_3$  は共鳴信号の受信コイルである。直径 2 cm の



磁界分布とコイルの寸法とから単位電流に対する力を計算する。

第 5 図 磁極間磁界の測定

ガラス球に入れた水がまず永久磁石の 5,000 Oe の磁界で偏極されたのち、空気圧により 10 m 以上離れた  $C_1, C_2, C_3$  コイルの中心に射込まれる。地球磁界は図示されていない大形のヘルムホルツコイルで打ち消されている。信号は約 52 kc, 時定数 3 s 程度の減衰信号である。その周期測定は信号約 15 万周期の間に含まれる 1 Mc 標準周波数の周期数を計数器で計数し、0.3 ppm の精度を得る。



第 6 図 低い磁界での  $\gamma_p$  の測定

一方  $C_1, C_2$  の電流は標準抵抗  $R$ , 標準電池  $E$  と比較される。第1回の測定と異なり 磁界は  $C_1, C_2$  の寸法測定とそれに流す電流とから決定する。一般に単位電流による コイルの磁界はその 寸法測定から 5 ppm より良い確度で決定できる。しかし電流の絶対値はそれより低い確度でしか測定できない。したがってこの測定が洗練されれば  $\gamma_p$  の絶対値の誤差の大部分は電流値の誤差に起因することとなる。そうならばこの測定方法を用いて電流標準の経年変化を検出できることとなる。予備的な結果は

$$\gamma_p = (2.67513 \pm 0.00002) \times 10^4 \text{ s}^{-1} \text{ Oe}^{-1}$$

そのほかドイツ, <sup>(18)</sup>ソ連<sup>(19)</sup> において  $\gamma_p$  の測定が行われた。

(3・2) ファラデー定数の測定<sup>(17)(20)(21)</sup>      ファラデー定数は元来グラム当量あたりのイオンの荷う電荷の総量である。1 個のイオンの電荷を  $e$  とすれば

$$F = Ne = (NM) (e/M) = A(e/M) \dots (1)$$

ただし  $N$ : Avogadro 数,  $M$ : 分子の質量,  
 $A$ : 分子量,  $(e/M)$ : 比電荷

一方、周知のように  $F$  は電解の実験から決めることができ

$$F = It/M \dots (2)$$

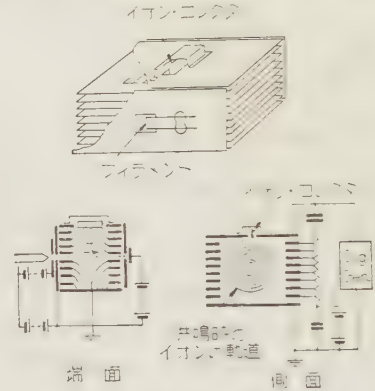
ただし,  $I$ : 電解電流で一定,  $t$ : 電解時間,  
 $M$ : グラム当量で表わした析出物質の量

である。さて (1) 式を次のように変形する。

$$F = A \cdot \frac{\omega_p}{H} = A \cdot \omega_c \cdot \frac{\gamma_p}{\omega_n} = A \gamma_p \left( \frac{\omega_p}{\omega_n} \right) \dots (3)$$

この式の実験的意味は次のとおりである。

第7図に示した Omegatron とは、マイクロクロトン共鳴を用いた質量分析器を用いると、そのマイクロクロトン周波数  $\omega_c$  は、 $\omega_c = H(e/M)$  となる。既知の磁界



第 7 図 Omegatron

$H$  の中で  $\omega_c$  を測定すると  $(e/M)$  が得られる。 $\gamma_p$  を利用して  $H$  を測定すると  $H = \omega_n / \gamma_p$  である。(3) 式の最右辺のように書けば、 $(\omega_c / \omega_n)$  すなわち同一の磁界中でのサイクロトロン周波数  $\omega_c$ , 核磁気共鳴周波数  $\omega_n$  の比であり、磁界の大きさには関係しない。

いまなんらかの原因で電流単位が大きくなったと考えてみよう。(2) 式による電解の方法では電流単位が大きくなると  $M$  が大きくなる。したがって  $F$  は小さくなる。一方、(3) 式による Omegatron によれば  $\gamma_p$  の測定値は電流単位の増加に比例して大きくなる。したがって  $F$  は大になる。電流単位の変化に伴ない同じ  $F$  の値から (2) 式の測定法と (3) 式の測定法とで逆方向の変化を与えることは興味深い。この双方の方法で電流の経年変化を検出し、双方による  $F$  の値の変化が異符号で大きさが等しければ、その変化は電流単位の変動によって起ったものであることが相当確かにいえるのである。

第7図において特殊管 Omegatron の中には水素が封入され電子衝撃によりイオンとなる。そしてこのイオンは Sig. Gen. の周波数がサイクロトロン周波数  $\omega_c$  に等しいときにだけイオン、コレクタに到達できる。 $\omega_c$  の決定は 10 ppm より良い精度で行える。

$F=9,652.2 \pm 0.3$  emu/equiv (physical scale) が結果である。<sup>(22)</sup>

一方、電解による方法は数回 NBS で行われている。電解液に銀、ヨード、蔭酸イオンを用いるもので、銀法<sup>(21)</sup>：

$F=9,651.29 \pm 0.19$  emu/equiv (Physical scale) ヨード法<sup>(22)</sup>：

$F=9,652.15 \pm 0.13$  emu/equiv (Physical scale) 蔭酸法<sup>(23)</sup>：

$F=9,651.1 \pm 0.3$  emu/equiv (Physical scale)

これらのうち銀法とヨード法が代表的なものでヨード法の値が最も正確なものと考えられている。ところでごく最近新しい銀法による測定が NBS で行われ、その予備的な値は<sup>(20)</sup>

新銀法：

$F=9,651.64 \pm 0.20$  emu/equiv (Physical scale)

銀ファラデーが正しくないと考えられた理由は、(1) 電流が銀イオン以外でも輸送されること。(2) 陰極に析出するのは銀以外の挟雑物がまじること。(3) 析出した銀が再溶解または、はげ落ちることなどである。ヨードファラデーの測定においてはヨードは質量数 127 だけが天然に存在すること、電解による化学変化を、陰陽両極で滴定によって測定し双方の一致により結果の正しさを判定しうる。さらに他の物理定数と一緒に考えると、ヨードファラデーのほうが、銀ファラデーより矛盾が少ないこと、などである。

新銀法ではこれらにかんがみ、陽極につるす銀を良く精製し、またその分子量を質量分析器で測定し、 $(107.8730 \pm 0.0015)$  かつ陽極の銀の減量を測定した。

#### 4. 物理定数の測定<sup>(b)(17)(21)</sup>

物理定数と称されるものは数多くある。これまで述べた光波長、 $\text{NH}_3$  の反転周波数、 $\gamma_D$ 、 $F$  などのももちろんそうである。しかしこれには2様の意味のものが含まれている。第1群は  $\gamma_D$ 、 $F$ 、 $N$ 、 $e$  などは物質構成の素粒子の特性または理論において、a priori に仮定せざるをえない要素的な物理定数であるが、第2群は光波長とか反転周波数などでこれら要素的な物理定数がわかれば理論から原理的に算出されうるものである。いずれにしても物質の微視的性質であるから精密に値がわかり、その再現性、安定度がよければ原子単

位の基礎として採用することができる。これら基本的物理定数は数多くあるが、もちろんそれらのうち少数のものが独立である。精密に測定された数個の定数を最小二乗法によって整理し、全体の調和を図る試みがなされている。<sup>(21)</sup>

このように物理定数の測定値を全体としてもっとも矛盾が少なくなるように調整を図ることは、(1) 個々の測定値を全体の調和という立場からながめて、できるだけ正しい値を知る。(2) すべての測定は現行単位を参照として行われているから、測定の精度が向上して単位維持の精度をこえた場合には逆に単位の変動を検出することができる。(F の測定参照) 基本的にいえば(2) の立場が原子単位の立場であるということが出来る。現在のところ第1群の物理定数は、この立場を主張しうるまでに達していない。したがって現在の原子単位の考え方はもう少し局限された第2群の物理定数に基づく立場をとっている。すなわち長さの光波基準にしても、原子周波数基準にしても、その基礎となる光波長および共鳴単位差と第1群の値との関係を理論的に必要な精度まで求めることは不可能だからである。

以上のような意味で現在進行しつつある原子単位への単位変更の動きは狭義の原子単位への移行であるといえよう。最終的には広義つまり第1群による原子単位を採用することが目標となるべきであると考えられるが、現在はそのゴールを予見することはできない。このためには全体としての物理定数測定の整理が必要である。この方面の現状をみるために、物理定数精密測定の現状を概観する表を第5表、第6表に掲げる。第5表は非常に精密な実験値から最小二乗法で整理して得た物理定数の基本群である。

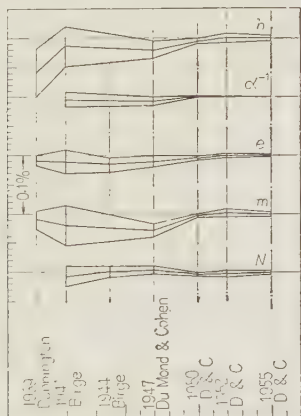
第6表に示したのは第5表から誘導される他の重要な物理定数の値であり、これらのうちのおもなものについての最近20年間の知見の発展を第8図に示す。

第5表 精密に知られている物理定数

原子量に関するデータ： $H=1.008142 \pm 0.000003$ (Physical scale)
$H'$ (水素原子量)： $H/M_p=1.000544613 \pm 0.000000006$
$M_p$ (陽子原子量)：
$n$ (中性子原子量)： $n=1.008982 \pm 0.000003$
Rydberg 定数： $R_\infty=109,737.309 \pm 0.012 \text{ cm}^{-1}$
電子磁気効率と陽子磁気効率の比： $\mu_e/\mu_p'=658.2288 \pm 0.0004$
電子磁気効率と Bohr 磁子の比： $\mu_e/\mu_B=1.00114536$
光速度： $c=299,793.0 \pm 0.3 \text{ km s}^{-1}$
気体定数： $R_0=(8.31696 \pm 0.00034) \times 10^7 \text{ erg mole}^{-1} \text{ deg}^{-1}$
気体 1 mole の体積： $V_0=22,420.7 \pm 0.6 \text{ cm}^3 \text{ atoms/mole}$
微細構造定数： $\alpha=(2\pi e^2 h^{-1} c^{-1})=(7.29729 \pm 0.00003) \times 10^{-3}$
電子電荷： $e=(4.80286 \pm 0.00009) \times 10^{-10} \text{ esu}$
アボガドロ数： $N=(6.02486 \pm 0.00016) \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$
X 単位とミリオンストロームの換算係数： $A=1.002039 \pm 0.000014$

第 6 表 第 5 表より導かれる主要な物理定数

アボガドロ数: $N = (6.02486 \pm 0.00016) \times 10^{23} (\text{g mole})^{-1}$
ロシュミット数: $L_0 = N/V_0 = (2.68719 \pm 0.00010) \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$
ファラデー定数: $F = N_e = (2.89366 \pm 0.00003) \times 10^4 \text{esu} (\text{g mole})^{-1}$ $= (9,652.19 \pm 0.11) \text{emu} (\text{g mole})^{-1}$
Planck の定数: $h = (6.62517 \pm 0.00023) \times 10^{-27} \text{erg} \cdot \text{s}$
ボルツマン定数: $k = R_0/N = (1.38044 \pm 0.00007) \times 10^{-16} \text{erg deg}^{-1}$ $= (8.6167 \pm 0.0004) \times 10^{-5} \text{eV/deg}$
電子質量: $m = (1.1083 \pm 0.0003) \times 10^{-28} \text{g}$
電子電荷: $e = (4.80286 \pm 0.00009) \times 10^{-10} \text{esu}$ $= (1.60206 \pm 0.00003) \times 10^{-20} \text{emu}$
陽子質量: $m_p = M_p/N = (1.67239 \pm 0.00004) \times 10^{-24} \text{g}$
中性子質量: $m_n = n/N = (1.67470 \pm 0.00004) \times 10^{-24} \text{g}$
ボーア磁子: $\mu_0 = h_e/4\pi mc = (0.92731 \pm 0.00002) \times 10^{-20} \text{erg G}^{-1}$
電子の磁気効率: $\mu_e = (0.92837 \pm 0.00002) \times 10^{-20} \text{erg G}^{-1}$
核磁子: $\mu_n = h_p/4\pi mc = (0.500038 \pm 0.000018) \times 10^{-23} \text{erg G}^{-1}$
陽子の磁気効率: $\mu = (2.79275 \pm 0.00003) \times (\text{核磁子})$
陽子の Gyromagnetic ratio: $\gamma' = (2.67523 \pm 0.00004) \times 10^4 \text{s}^{-1} \text{G}^{-1}$
質量エネルギー換算係数: $1 \text{g} = (5.61000 \pm 0.00011) \times 10^{26} \text{meV}$



第 8 図 1939 年以降物理定数決定精密化の例

## 5. あとがき

以上において原子単位の現状とそれの背景となる物理定数の測定値についての概観を終るが、終りに狭義の原子単位の基礎として、ある物理定数が単位の基準として採用されるための条件を電流単位を例にとって述べることにしよう。電流単位に用いられる可能性のあるのは  $\gamma_p$  と  $F$  である。両者ともに第 1 群の物理定数に属するとみられる。まえがきに述べた三つの条件のうち、(i) と (ii) を満足している。また (iii) のうち安定性をもたしている。しかし再現性となると、現在  $\gamma_p$  も  $F$  もその誤差は現在の電流単位の誤差(確度)以上に大きいと見られる。したがって現在ただちにこの変更を行うことは不適当である。両者ともに電流との関連はきわめて直接的であり、測定に用いる電流も 1 A 程度であって現在の標準と比較するにはつごうがよいから、それらの誤差が電流単位の不確かさ以外には、

けた違いに小さくなければ、電流単位を  $\gamma_p$  または  $F$  に基づいて定義変える可能性は充分にあるといえよう。そのためには異なる方法で、また異なる国々で多くの測定を行い相互に比較して、いわゆる装置の誤差や個人誤差などが、充分小さいことを確認する必要がある。 $\gamma_p$  と  $F$  のいずれが選ばれるかは、一にその再現性にかかっている。電気単位全体についてみる場合には、これほど単純に議論できない。すなわち力学系、電気系を通じ次元的には四つの独立量が必要で  $LMT$  を独立量とすると、電気的量としては 1 種だけ必要である。これに  $\gamma_p$  または  $F$  をあてればよい。しかし電気の標準だけについていえば、電流標準から抵抗標準を高精度で誘導する実験はない。そこで通常 2 種の標準器(標準電池と標準抵抗)を必要としている。この事情に対応して電圧標準などに直接関係する精密測定可能な物理定数測定が要求されるであろうが、このような実験は  $10^{-4}$  程度しか精度をもたない。ゆえに電気単位全体としては、狭義にしても原子単位に移行することは予見しうる将来のことではないといえようである。しかし装置の誤差を除くと、いまの電流の装置でくり返し測定を行えば、 $\gamma_p$  の値は 1 ppm 近くまで一定するから、電流標準の監視装置として現在でも有効に利用できるのである。

## 文 献

- (1) L. Essen: Proc. of a Symposium held at the NPL p.88 (1951-5-21, 22)
- (2) R. D. Huntton & U. Fano: Nature **166**, 167 (1950)
- (3) 田幸: 応用物理 **27**, 121 (昭33)
- (4) 増井: 計測 **8**, 425, 496 (昭33)
- (5) R. L. Barger & K. W. Merriam: J. Opt. Soc. Amer. **43**, 22 (1958); K. G. Kessler, R. L. Barger & W. G. Schweitzer: Trans Inst. Radio Engrs **I-7**, No. 3 & 4, 181 (1958)
- (6) 原: 計測 **8**, 31 (昭33)
- (7) 宮地: 計測 **8**, 189 (昭33)
- (8) 松浦, 他: 電試集 **21**, 612 (昭32)
- (9) L. Essen: Nature **176**, 280 (1955)
- (10) P. Kusch & V. W. Hughes: Handb. d. Phys. **37**, 109 (1959)
- (11) A. O. McCoubrey: Trans Inst. Radio Engrs **I-7**, No. 3 & 4, 203 (1958)
- (12) R. C. Mockler et al.: Trans Inst. Radio Engrs **I-7**, No. 3 & 4, 201 (1958)
- (13) 霜田: 物理誌 **13**, 239 (昭33)
- (14) 松浦, 鈴木: 私信
- (15) H. A. Thomas, et al.: J. Res. Nat. Bur. Stand. **44**, 569 (1950)
- (16) P. L. Bender, et al.: Trans Inst. Radio Engrs **I-7**, No. 3 & 4, 176 (1958)
- (17) 原: 電試集 **21**, 81 (昭32)
- (18) W. Wilhelm: Ann. Phys. **19**, 329 (1957)
- (19) B. P. Tanovskii, et al.: Izmeritel'naja Tekhnika. **2** (1959) (USSR)
- (20) Technical News Bulletin of NBS. **44**, No. 2, 34 (1960)
- (21) J. W. M. DuMond: Trans Inst. Radio Engrs **I-7**, No. 3 & 4, 136 (1958)
- (22) H. Sommer, et al.: Phys. Rev. **82**, 697 (1951)
- (23) D. N. Craig, et al.: Electrochemical Constants, Proceedings of the NBS Semicentennial Symposium on Electrochemical Constants Held at the NBS. p. 13 (1951-9-19-21)



UDC 621.365.55.004.14

## 誘 電 加 熱 の 最 近 の 応 用\*

技術綜説

35-13

正員 篠 原 卯 吉† 正員 大 島 重 威††

## 1. 緒 言

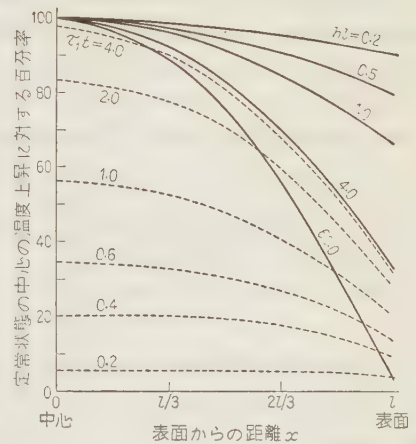
わが国における高周波誘電加熱の研究は終戦前より行われていたが、これの工業上の応用は主として終戦直後からである。当時無線通信器工業界の衰微状態といふ特殊事情があったため、工業化の基礎的研究もせず、いきなり実地の応用に飛び込む者が多く、いきおい無用の混乱と失敗をまねいたきらいがあった。しかし今日では十数年の経験と、その後の研究の結果、堅実な工業ベースによって、各種工業に取り入れられている。一方、欧米でも着実な基礎研究を重ね、小容量のものから堅実な工業化が進められている状況である。現在のところ、わが国のこの方面の技術は欧米にくらべ、なんら損色はないばかりか、むしろわが国で研究ならびに実施されながら欧米に周知されていないものが多い。

熱的不良導体の加熱には、誘電加熱は理想的な方法であるが、もちろん応用の対象には限界がある。また最近では外部加熱を併用し、誘電加熱の欠点を補なおうとしたり、乾燥のほかには接着その他の特種用途への応用も多し。(1)

## 2. 内 部 加 熱

均一な内部加熱によって被加熱体内の温度分布がどうなるか、簡単な一次元の場合について、その熱的本質を明らかにしてみよう。

(2・1) 内部蒸発がない場合 第1図は均一な内部加熱による定常状態の温度分布を、中心温度に対する百分比で表わしたものである。パラメータ  $hl$  は物体表面の放熱係数  $H$  と熱伝導度  $K$  の比 ( $h=H/K$ ) と、物体の中心から表面までの距離  $l$  の積を表わす。 $hl$  が小さいほど、定常状態の温度分布は均一に近づくが、被加熱体は元来熱的不良導体に属するのが普通であるから、 $h$  をあまり小さくすることはできない。したがって普通温度分布は被加熱体の中心が高い放物線状になる。第1図の点線で示す各曲線は  $hl=4.0$  に対する過渡状態の温度分布を、定常状態の中心温度の百分比で示したものである。この場合一様な温度上昇を得るに

実線：定常状態，点線： $hl=4.0$  に対する過渡状態

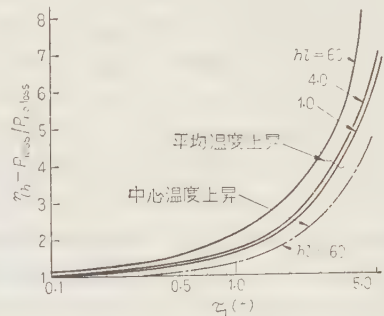
第 1 図 水分を含まない被加熱体の温度分布

は、被加熱体の熱的性質、寸法で決まる次の  $\tau_1$  と時間  $t$  の積が 0.2 以下で加熱する必要がある。

$$\tau_1 = \frac{K}{c\rho} \alpha^2 t \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $c$ ：物体の比熱、 $\rho$ ：密度、 $\alpha$ ： $hl$  に関係をもつ定数

第2図は等しい温度上昇に対し、熱損のない場合の所要の加熱電力と、表面から熱の放散があるときの加熱電力の比と、 $\tau_1 t$  との関係を示す曲線である。 $\tau_1 t$  が大きくなると、熱損は急に増加する。また中心の温度



第 2 図 等しい温度上昇に対する熱損のない場合の所要の加熱電力と熱損のあるときの加熱電力比

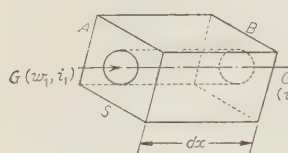
† 名古屋大学工学部電気工学科教授

†† 名古屋大学工学部電気工学科助手

上昇が必要なときは、鎖線の曲線から明らかなように、加熱時間は比較的長くなる。このように物体を均一に加熱するには、熱破壊を生じない限度で、加熱電力密度を大きくとり、加熱時間を短くしたほうが有利となる。

(2・2) 水分を含む物体の加熱乾燥の場合 木材、布、そのほか粉体などの水を含む多孔質の物体を誘電加熱で乾燥する場合、大部分の水分は内部で蒸発して飽和水蒸気圧力のこう配で表面に流出すると考えられている。<sup>(2)</sup>

この理論を簡単に説明するために、物体内の任意の



第3図 毛細管構造模型

点に、第3図に示すように単位の切断面積  $S$  を有し、長さ  $dx$  の微小体積を考える。管壁の周囲には多数の毛細管が存在し、水が充満して、管壁と管孔は熱的に平衡状態にあるとする。細管内を水蒸気が移動すれば、流れに対する抵抗によって圧力降下が生ずる。すなわち圧力を  $p$ 、抵抗を  $f_r$  とすれば、水蒸気の流れの連続の条件から、その単位長さ、単位時間あたりに蒸発する水分量  $\Delta G$  は次式のようになる。

$$\Delta G = -\frac{S}{f_r} \left( \frac{d^2 p}{dx^2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

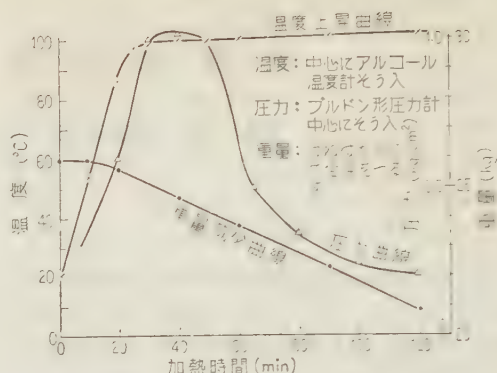
水の飽和蒸気圧  $p$  と温度  $\theta$  は一般に直線関係で表わすことはできないが、<sup>(3)</sup> 狭い温度範囲に對し (3) 式のようにおくと、(2) 式は (4) 式のようになる。

$$p = \alpha + \beta \theta \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta G = -\frac{\beta S}{f_r} \frac{d^2 \theta}{dx^2} \dots \dots \dots (4)$$

細管内の水蒸気の運動エネルギーおよびエントロピーの変化は、単位時間に  $\Delta G$  の水を蒸発するに必要な潜熱  $\Delta GL$  にくらべて無視すると、熱的定常状態においては、この微小体積に供給される電力に相当する熱量は  $\Delta GL$  と熱伝導とに消費される。したがって一般にはこの場合の見掛けの熱伝導度  $K'$  は、物体の熱伝導度  $K$  より大きくなる。

物体の表面でもその表面温度と周囲温度の差に比例して熱の伝達が行われるとすると、第1図と全く同様の温度分布となる。第4図は木材(ぶな)を高周波乾燥した場合の、加熱時間に対する温度、重量および圧力の変化を示す一例であるが、内部の水分の蒸発を含む見掛けの熱伝導度が大きいので、急速に温度一定の



初含水率 70%, 周波数 8.85 Mc, 陽極入力 6 kW

第4図 ぶな材(枕木, 厚さ 13 cm  
幅 19 cm, 長さ 106 cm)

定常状態に達し、乾燥がある程度進行して、再び第2段の温度上昇はじまるまで、温度は変わらない。中心部の圧力は定常状態の初期において、内部に含まれる空気および水蒸気の加熱によって圧力が大きくなるため、一部の水は液相のまま表面へ押し出される。内部の空気および水蒸気が外へ出てゆくにしたがい、圧力は低下し内部の圧力は飽和蒸気圧力に近づく。したがってこの状態で外部からの空気の流入を断って、物体を冷却すれば、中心部の圧力は外気圧よりかなり低くなる。この現象は後に述べる木材の防腐処理に利用することができる。また穀粉などの食品加工、あるいはスポンジ状のプラスチック製品の加工では、内部圧力が外気圧より大きくなることを利用して、品質を向上することができる。しかし木材、陶土などの乾燥では、中心温度が高く、それに対応する圧力が、その物体の強度より大きくなると、内部爆裂<sup>(2)</sup>を生じ、物体内部の損傷をきたす。このように中心部の温度上昇にある臨界値  $\theta_c$  がある場合には、加熱電力密度にもある臨界的な許容値がある。これを  $(P_w)_c$  とすると、(5) 式のように外周温度  $\theta_s$  の低いほど  $(P_w)_c$  は大きくとれる。

$$(P_w)_c = (\theta_c - \theta_s) 2JH \left/ \left( 2l + \frac{H}{K'} \right)^2 \right. \dots (5)$$

$J$ : 熱の仕事当量

### 3. 高周波乾燥炉の構造

高周波乾燥では被加熱体の周囲に外壁をつける場合が多く、はなはだしい場合には、外部加熱の概念から熱絶縁を施すことも行われた。高周波乾燥炉では外壁の熱絶縁は無意味というより、むしろ有害であること

が多い。外壁は被乾燥体から出てきた水蒸気を凝縮させる凝縮器の役目を持たしたほうが被加熱体の乾燥温度を下げ、熱効率をよくするのに効果がある。密閉した乾燥炉内で、被乾燥体から水分の蒸発が定期的に行われるには、蒸発した飽和蒸気が周辺の炉壁に向って流れ、ここで潜熱を吸収し凝縮することが必要となる。被乾燥体から炉壁へ飽和水蒸気が流れる際、水蒸気の膨張による仕事、運動エネルギーの増加のため、エントロピーの減少を生ずるが、しかし普通高周波乾燥で取り扱われる数十キロワット程度の加熱電力ではこの飽和水蒸気のエントロピーの変化は無視できるから、定常状態で被加熱体に供給される加熱電力によって、単位時間あたりに発生する水蒸気は、大体その温度のまま炉壁に達し、潜熱を放出して水になると考えることができる。したがって炉壁はこの熱を外周に伝えて放散する必要がある。したがって炉壁の熱伝導度を  $K$ 、厚さを  $d$ 、表面積を  $R$ 、外表面の冷却係数を  $H$ 、外周温度を  $\theta_s$ 、加熱電力を  $P$  とすると、炉壁の内面温度  $\theta_1$  は次式で表わされる。

$$\theta_1 = \frac{P}{J} (d/KS + 1/H) + \theta_s \dots \dots \dots (6)$$

この炉の内面温度  $\theta_1$  は被乾燥体の表面温度に大体等しいと考えられるから、定常状態における被乾燥体の表面温度、したがって内部温度も、上式から明らかに、炉壁の熱の放散、伝導に関係し、炉壁材料に熱伝導度の大きい、薄いものを使い、表面積を大きくして、外周温度を低くすれば、等しい加熱電力でも被乾燥体の温度を下げることができる。第5図はナ

イロン細片（溶融して繊維にするまえ、モノマを水洗い除去するために細断したもの）を、図に示すような円筒電極に入れ、周囲を亜鉛板で密閉し、外周に温水および氷水を加えて、外周温度を一定に保ちながら、等しい高周波電圧を印加して乾燥を行ったときの、加熱時間に対する内部の温度、含水率の変化を示す曲線である。外周温度の低いほうが内部温度も低く、含水率の低下も大きい。外周温度の高いほうは内部温度も高いために変色している。次に乾燥炉に水蒸気の排出口を設けた場合、定常状態における乾燥炉内の飽和蒸気圧  $p_1$  を近似的に求めると次式のようになる。

$$p_1 = [2(ps/3)^3 + (1/2g)(P/JL)^2(c/S)^2]^{1/3} + ps/3 \dots \dots \dots (7)$$

ここに、 $ps$ ：外気圧力、 $c$ ：飽和蒸気圧と水蒸気の比体積の積を示す定数、 $S$ ：排出口の切断面積

すなわち乾燥炉内の飽和蒸気圧、したがってこれに対応する温度は、加熱電力  $P$  を一定とすると、排出口の断面積を大きくし、外気圧力を小さくするほど、低くすることができる。

#### 4. 高周波導電率の周波数特性

被加熱体内の任意の点の高周波電界を  $E$ 、導電率を  $\sigma$  とすると、その点の加熱電力密度  $P_u$  は

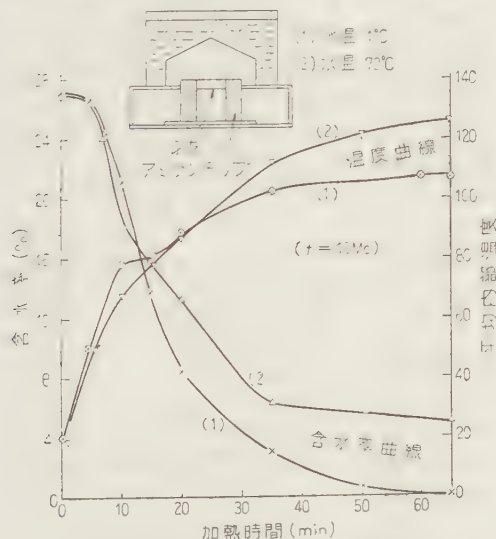
$$P_u = E^2 \sigma \text{ (W/cm}^2\text{)} \dots \dots \dots (8)$$

$$\sigma = 0.556 f \varepsilon \tan \delta \times 10^{-12} \dots \dots \dots (9)$$

被加熱体を均一に加熱するには、電界強度  $E$  ならびに高周波導電率  $\sigma$  の分布も一様でなければならない。いま含水率の減少などによる加熱電力の変化およびその調整をできるだけ少なくし、かつ放電による損傷を防止して均一加熱するには、結局加熱周波数の選定が問題になり、結局導電率の周波数特性が問題になる。

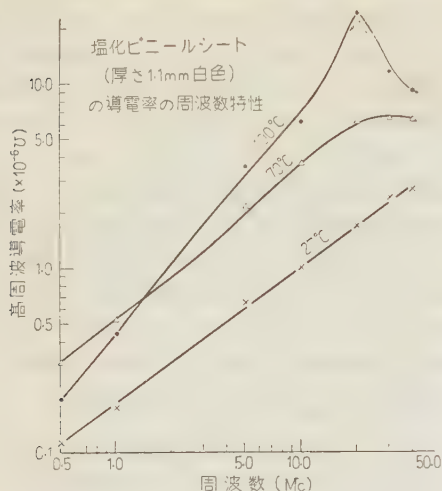
高周波電界による発熱が、単純双極子分子の回転により行われる誘電体の分散吸収領域は、Debye 氏<sup>(4)</sup>の式で示されるものより、広い周波数にわたり、またその最大値も小さい。Cole-Cole 両氏<sup>(5)</sup>は Debye 氏の式を変形して実測に合う式を求めているが、その結果は周波数の増加に対し誘電率は減少し、導電率は指数関数で大きくなる。分散周波数領域では、導電率は依然周波数の2乗で増大する。

第6図は塩化ビニルシートの高周波導電率の周波数特性を示したものである。常温においては導電率の対数と周波数の対数とは直線関係がある。しかし温度が上昇し軟化点に近づくと、この直線関係はくずれ、イ



第5図 アミランチップの温度上昇  
ならびに含水率曲線

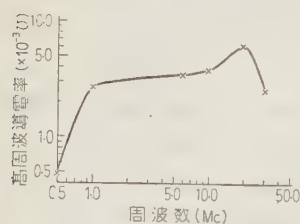




第 6 図 塩化ビニールシートの  
導電率の周波数特性

オン導電の影響が現われる。石炭酸樹脂、ゴム、乾燥した木材、紙などの高分子材料は、いずれも常温においては第 6 図のような直線関係が得られる。このように周波数とともに導電率の増大するものは、(8) 式に示すように、一定の加熱電力密度に対して電界  $E$  を下げることができる。

次に高含水率の木材、粘土、殿粉などのように、イオン導電を含むものの導電率の周波数特性は、簡単でない。希薄電解液の高周波導電率については、Debye, Falkenhagen 両氏が<sup>(6)</sup> 理論的に求めたように、周波数の増加とともに導電率は次第に大きくなって、一定値に近づく。濃厚溶液<sup>(7)</sup> においても、周波数の増大と

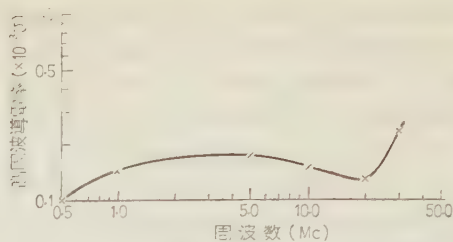


第 7 図 塩化アンモン 0.01N 溶液の導電率と周波数の関係

図は塩化アンモン 0.01N 溶液の周波数特性、第 8 図は水道水の場合を示す。一般に濃厚電解液の導電率の測定値の確実性は乏しいが、傾向としては、周波数がある程度以上高くなると導電率は増加しなくなり、周波数を高くすると効果がなくなる。

## 5. 組成の分布の不均一と周波数の関係

違った物質が層状になっている場合、加熱周波数を



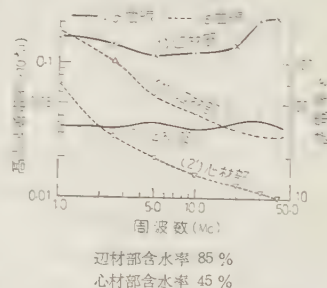
第 8 図 水道水の導電率の周波数特性  
(電極間隔 4 mm, 29.5°C)

適当に選定することによって、ある程度の均一加熱ができるのも、誘電加熱の特徴の一つである。いま二つの違った物質よりなる複合層があるとき、それぞれの誘電率、誘電率を  $\epsilon_1, \epsilon_2$  および  $\tan \delta_1, \tan \delta_2$  とし、電界は層の方向に加えるものとする。この複合層において均一な発熱が行われるには、次の関係が成立することが必要となる。

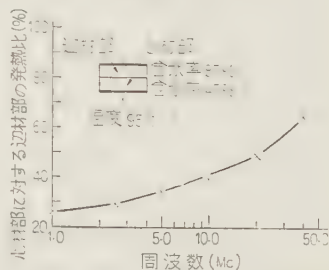
$$\epsilon_2(1 + \tan^2 \delta_2) / \tan \delta_2 = \epsilon_1(1 + \tan^2 \delta_1) / \tan \delta_1 \quad (10)$$

先に述べたように、誘電率も誘電率も一般に周波数の関数であるから、組み合わせた複合層の種類によっては均一な発熱も可能となる。第 9 図はぶな材の辺材部 (含水率 85%) と心材部 (含水率 45%) の、温度 95°C における導電率と誘電率の周波数特性であるが、この辺材部と心材部とが等しい厚さの複合層をつくる場合の、心材部に対する辺材部の発熱の比と周波数の関係を求めると第 10 図のようになる。

周波数を高くするにしたがい、辺材部の発熱も増加している。第 11 図は辺材部と心材部を電界に並行にならべた場合の、辺材部に対する心材

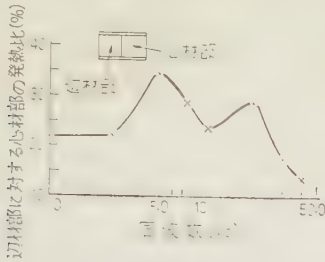


第 9 図 ぶな材の誘電特性  
(温度 95°C)



第 10 図 ぶな材の辺材部と心材部の複合層の発熱比の周波数特性

部の発熱比の周波数特性で、辺材部の発熱が大きいと低周波にくらべその程度は小さい。



第 11 図 電界に並行にぶたの  
辺材部と心材部をおいた場合  
の発熱比の周波数特性

## 6. 電界の分布と周波数の関係

被加熱体内の導電率が均一に分布していても、電界の強さが場所により違えば、一樣な加熱はできない。いま簡単のため、被加熱体は長方形として、物体内の電界分布は近似的に長さ方向のみで変わるものとする、長さの中心から任意の点  $x$  の電界は次式で表わされる。

$$E_x = E_0 \cos\{\left(\frac{\pi}{2} p x\right) + j(\beta q x)\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

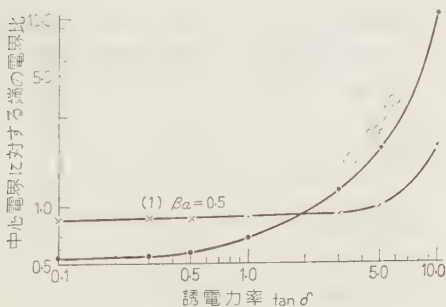
ここに  $E_0$  は中心の電界強度であり、 $\beta$ ,  $p$  および  $q$  は被加熱体の誘電率  $\epsilon$ , 誘電率  $\tan \delta$  および周波数  $f$  と次の関係がある。

$$\beta = 2\pi f \times 10^{-8} \sqrt{\epsilon/3} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$p = \{\sqrt{1 + \tan^2 \delta} + 1/2\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$q = \{\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1/2\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (14)$$

第 12 図は被加熱体の長さを  $2a$  とするとき  $\beta a = 0.5$  および  $1.0$  の場合の、中心の電界に対する端の電界の比と、周波数の関係を示す曲線である。誘電率が  $0.5$  より小さいときは、端よりも中心電界が高

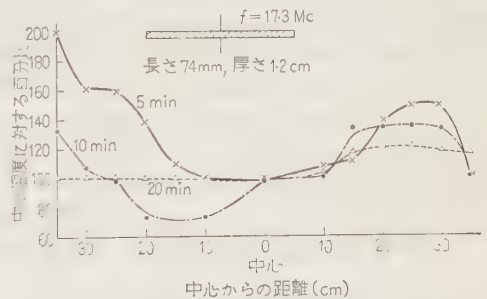


第 12 図 長方形物体の中心の電界  
強度に対する端の電界強度の  
比と誘電率との関係

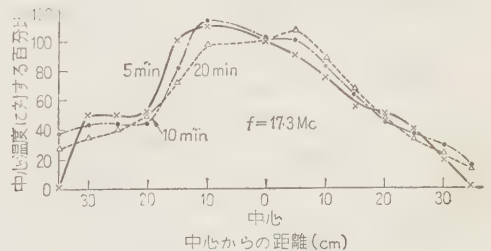
く、いわゆる中骨作用を呈し、誘電率が相当大きくなると、反対に端の電界が高くなり表皮効果を生ずる。誘電率が  $0.5$  以下に対し、電圧印加点から電界が  $90\%$  になる限界寸法  $a_0$  と、周波数  $f(\text{Mc})$  および誘電率  $\epsilon$  との関係を求めると、長方形に対し

$$a_0 \leq 21.5/f\text{Mc}\sqrt{\epsilon} \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots (15)$$

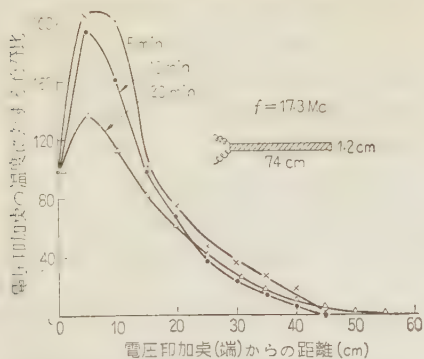
誘電率が相当大きくて表皮効果が現われる場合、上のように簡単に均一発熱のための限界寸法を求めることは難しいが、 $\beta a$  が大きくなるにしたがい  $\tan \delta$  が  $1$  に近い場合でも端の電界が強くなる。第 13 図は幅  $6\text{ cm}$ 、長さ  $74\text{ cm}$  の水道水を含浸させた紙を厚さ  $1.2\text{ cm}$  に重ねて、中央から  $17.3\text{ Mc}$  の周波数の高周波電圧を印加した場合、印加後  $5\text{ min}$ ,  $10\text{ min}$  および  $20\text{ min}$  の温度分布を中心温度に対する百分比で表わしたものである。水の絞り方による多少の不同はあるが、傾向としては、 $\tan \delta$  が大きいために表皮効果が現われて、端の温度上昇は大きい。 $20\text{ min}$  加熱後には温度は大体一樣になっているが、水分の蒸発は端のほうややはり盛んであった。第 14 図は塩化カリ  $0.5\text{ N}$  溶液を含浸させた前と等しい寸法の紙の場合で、第 13 図と条件は同じでも、明らかに中骨作用が見られ、中心部の温度上昇が大きい。これを電極の一端から電圧を印加したときは、絞り方による不整はあるが、第 15 図のように、やはり印加部の温度上昇が高い。また



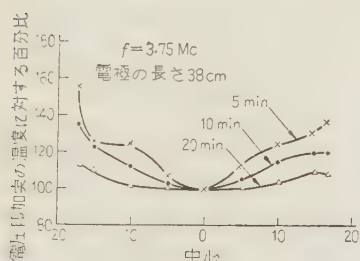
第 13 図 水道水含浸紙の温度分布  
(中央給電)



第 14 図 KCl  $0.5\text{ N}$  含浸紙の温度分布  
(中央給電)



第 15 図 KCl 0.5 N 含浸紙の温度分布  
(端 給 電)

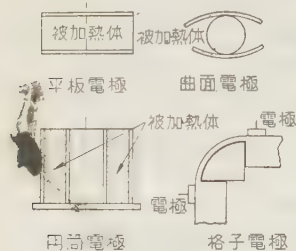


第 16 図 KCl 0.5 N 含浸紙の温度分布  
(中央 給 電)

熱周波数を 3.75 Mc に下げると第 16 図のような表皮効果が見られる。このようにイオンを濃厚に含む場合は、周波数を高くすると誘電率が減少するため、電界分布と周波数の関係は誘電率のみでは決まらない。電解液も高い周波数では誘電体としての性質が現われることは、等しく内部加熱といっても、商用周波数の電流による直接通電加熱と相違する点である。

## 7. 電界印加法

被加熱体に高周波電界を加える方法として、もっとも普通に行われているのは、電極間に被加熱体をおく方式で、電極配置としては第 17 図のような平板、曲面、同軸円筒および格子電極<sup>(8)</sup>、これの変形である



第 17 図 電極配置

コイル形などが被加熱体の形状によって適当に用いられる。極超短波では上のような電極配置は使えないので、第 18 図に示すように、空洞共振器<sup>(9)</sup>内に被加熱体を入れて加熱す

る。この場合均一に加熱するには、被加熱体の寸法と周波数の間に、誘電率が小さいときは、やはり (15) 式で示した関係が成立するから、あまり大きなものの加熱はもちろ

できない。また誘電率が大きいと被加熱体内で電波が進行するとともに、次第に吸収されて減衰し、均一加熱ができない。減衰定数を  $\gamma$  とすると被加熱体の表面から  $x$  の点の電界の強さは、

$$E = E_0 e^{-\gamma x} \quad (16)$$

$$\gamma = \frac{2\pi f \times 10^{-8}}{3} \sqrt{\frac{\epsilon}{2}} (\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1) \quad (17)$$

均一に加熱するには  $\gamma x \leq 0.1$  に選定する必要があるから、厚さを  $d$  とすれば、

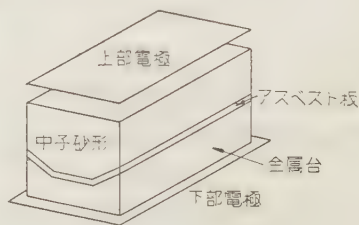
$$d \leq \frac{0.141}{2.093 f \times 10^{-8} \sqrt{\epsilon} (\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1)^{1/2}} \quad (18)$$

となり、このほうからも被加熱体の厚さには制限をうける。

## 8. 最近の応用

### (8.1) 乾 燥

(a) 鋳物の中子砂型の高周波乾燥<sup>(10)</sup> 鋳物の中子砂型の乾燥に誘電加熱を応用すると、砂型造りから乾燥まで一貫した流れ作業にすることができ、所要電力も普通の電気炉にくらべ 1/2 から 1/3 に節約できる。第 19 図に示すように中子砂型を金属台にのせ、トロコ上下部電極とともに移動させる。加熱周波数は 8 Mc で、砂粒子のバインダとしては、あまに油より尿素樹脂がより適当しており、砂 955 g、尿素樹脂 15 g、水 30 g に対し、所要高周波電力量は 49.6 Wh 程度とされている。



第 19 図 鋳物中子砂型の電極配置

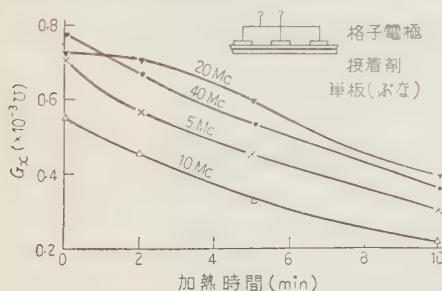


(b) 枕木の防腐処理 鉄道枕木(おもにふな材)は含水率 40~50% 程度に乾燥してから加圧方式でクレオソートを注入して防腐処理されているが、天然乾燥では6ヶ月ぐらいの長期にわたり、広大な乾燥用の土地を要し、その間腐朽も生ずるので、人工乾燥による連続処理が種々試みられている。<sup>(11)</sup> これに誘電加熱を適用すれば、乾燥が迅速になることはもちろんであるが、生木から 40% 程度の含水率に乾燥して、内部の細胞腔中の空気、自由水の大部分を取り除き、常温の防腐剤中に浸漬して冷却すると、先に述べたように内部の飽和水蒸気が凝縮して、圧力が 1/2 atm 以下に下がり、この内外の圧力差によって、防腐剤は木材内部に浸透する。従来の加圧式あるいは真空浸漬式にくらべ簡単であり、しかも内部まで防腐剤が注入されるから、枕木のみならずその他の用材の防腐処理法として適当である。

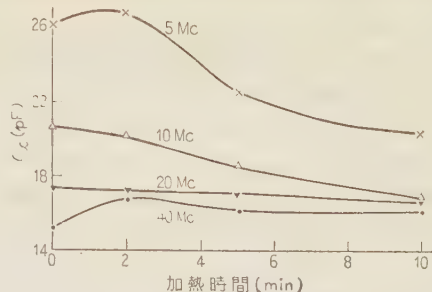
問題はクレオソートなどの防腐剤は温度を下げると著しく粘度を増し、注入抵抗が増すことである。高周波エネルギーを節約する目的で、商用周波数の電流を枕木の木口方向に直接加えて、併用加熱、あるいは商用周波数のみの加熱が行われているが、もちろん均一な加熱はできないし、乾燥限度も含水率 60% ぐらいで、加熱効果は大きくない。また電極の支持方法に問題があり、流れ作業方式に適していない。

## (8.2) 接 着

(a) 木材の接着<sup>(12)</sup> 熱硬化性の接着剤による木材の誘電加熱接着は、作業の迅速、接着強度、加熱方法の簡単など、他の方法では追従できない性能をもつ。この場合接着強度、耐水性などが大きい。これは接着剤が木質部内部までよく浸透するためである。したがって接着剤の加熱が急速で、木質部に接着剤が浸透する余裕なく硬化する場合、あるいは温度上昇が不充分で、圧力が出ないときは、いずれも接着強度は低下する。加熱電力、周波数および圧縮力は、



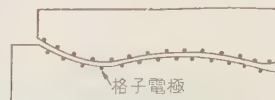
第 20 図 接着剤の硬化による単板 2 枚の誘電率の変化 (格子電極配置 65°C の恒温そう内で加熱)



第 21 図 接着剤の硬化による単板 2 枚の誘電率の変化 (格子電極配置 65°C の恒温そう内で加熱)

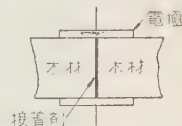
適当に選定する必要がある。圧縮力は 10~15 kg/cm<sup>2</sup> 程度が普通となっている。一般に熱硬化性の接着剤は、硬化剤として電解液を配合するので、最初は導電率は大きい。硬化すると急に減少する。第 20 図、第 21 図は単板 2 枚の間に、尿素系樹脂のユリ接着剤 (硬化剤として塩化アンモン 15% 溶液 10% 添加) を塗付し、格子電極をおいた場合の硬化に伴う電極端子の導電率、静電容量の変化を各周波数について示したもので、硬化にしたがって  $Q$  値は大きくなっている。したがって木材の接着は高周波負荷としては取り扱いやすい部類に属する。

(i) 成形合板 椅子の脊板、座板、テニスラケット、スキー、楽器などの曲面をもった成形合板の製造に数メガサイクル、出力 10 kW から 2 kW 程度の高周波電力が用いられる。第 22 図はスキー合板の接着の治具を示しているが、電極は等間隔の格子電極 (3.5~4.5 cm 間隔) とし出力 8 kW で 1 分 4 分間で均一に接着される。



第 22 図  
スキー合板接着の治具

(ii) ホゾ組立の接着<sup>(13)</sup> 窓ガラス、戸などのホゾ組立を高周波接着にすれば、強度は 3 倍になり、耐久力もよく、寿命もホゾ組の 4 倍以上になる。しかも工事は簡単になって製作時間が 20% ぐらい短縮できるなどの利点がある。出力 3 kW で 1 組 60 s の割合で組み立てができる。



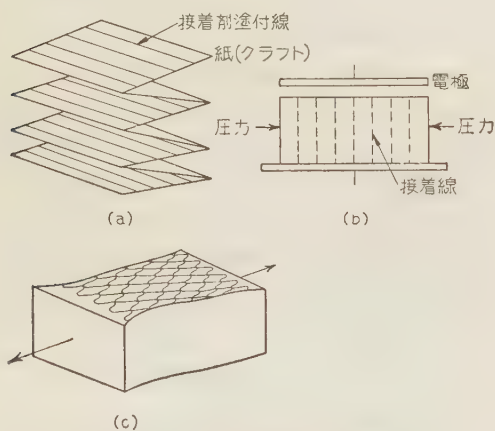
第 23 図 端面接着の電極配置

(iii) 端面接着 木材の端面接着に第 23 図に示すような電極配置で加熱する。単板のテーピング、ヨットボート、およびその他

の集成材の端面接着に使用されている。

(iv) 携帯用木材接着装置<sup>(14)</sup> 最近出力 500 W 程度の高周波加熱装置で、移動用の木工の接着工具として実用化されだしている。これは合板の補修、壁、天井などの化粧板の張り合せ、棧の接着など木工方面にかなり応用されるものである。電極は格子電極配置を用い、移動用のため、発振器から電極装置までの給電線の長いのが特徴である。したがって給電線の伝送特性と長さで加熱周波数は制限される。出力 300 W 程度で単板 2 枚を  $400\text{ cm}^2$  ぐらい、約 20 min で接着することができる。

(b) 紙の接着 建築用合板などのような化粧板の心材に軽量、保温、防音などの特性を持たせるために、紙で蜂の巣状のものが作られているが、この製造工程に必要な紙の接着は誘電加熱がよい。第 24 図 (a) に示すように、紙の上に一定の間隔で線状に接着剤を塗付し、所定の厚さに折り畳んで、圧力を加えてブロック状にし、(b) に示す電極配置で加熱接着したものを、(c) のように左右に引っ張れば、紙で蜂の巣のようなものができる。これに適当な樹脂を含浸させて成形仕上げを行う。



第 24 図 蜂の巣状心材の工程

(8・3) 食料品の加工 クラッカ、ビスケット、あられなどの澱粉製の食品の焼成に高周波加熱を併用すると、先に述べたように、内部蒸気圧の上昇により風

味が出る。この場合、表面を膠化させるために、赤外線加熱が加えられる。澱粉表面の膠化する時期は、澱粉の含水率と関係があり、高周波加熱とのバランスが重要となる。普通格子電極配置で連続的な加熱が行われている。

## 9. 結 言

誘電加熱の応用には、上に述べた以外に、プラスチック関係など見逃すことのできない分野がまだ多いが、紙面のつごう上割愛する。工業的な加熱方式として誘電加熱は電子工業の発達とともに、将来ますます盛んになる状況にあるが、さらに内部加熱の特徴を種種の材料の処理に応用されることが期待される。たとえば最近 Gen. Elect. で研究開発中と伝えられるサーモプラスチックレコーダと称せられている新しいテレビ録画方式では、裏面に金属膜を吹きつけた薄いプラスチックの表面に、電子銃で走査しながら電子を打ち込んで、これを高周波加熱すると、内部が軟くなって、フィルム両面の電荷の吸引力でつぶされ、そのまま冷却すれば電荷の強弱に応じたでこぼこ面ができて録画ができるということである。こういった誘電加熱の新しい応用はまだこれから出てくるものと考えられる。

## 文 献

- (1) 山本, 他: 最新の高周波応用, 第 1 集(昭 23); 第 2 集(昭 26) コロナ社; 斎藤, 他: 高周波加熱(昭 25); G. H. Brown: Theory and Application of Radio frequency Heating, (1946)
- (2) 篠原, 他: 高周波乾燥機構について(英文), 名大工学部紀要 4, 1 号, (1953)
- (3) 菅原: 蒸気タービン p. 21 (昭 22) 丸善
- (4) P. Debye: Polar molecules (1929)
- (5) K. S. Cole & R. H. Cole: J. Chem. Phys., 9, 341 (1941)
- (6) Debye u. Falkenhagen: Phys. Z., 29, 121, 401 (1928)
- (7) 金子: 強電解質論 p. 202 (昭 15)
- (8) 斎藤, 他: 電工論 2, 84 (昭 25)
- (9) R. B. Nelson: Electronics 25, No. 8, 104 (1952)
- (10) 加藤, 他: 高周波加熱とその応用 p. 159 (昭 28) 電気書院
- (11) 清水: 木枕木電気注入法の研究, 鉄道技研報告 No. 60 (昭 34)
- (12) 篠原, 他: 高周波加熱による木材の接着, 名産研報告 No. 9, p. 16 (昭 31)
- (13) 沢田, 他: 木製車輛部品の高周波接着について, 国鉄名古屋工場報告
- (14) J. Pound: Economics of R. F. and Future Trends, Wood No. 3 (1957)

製品  
紹介

## 古河テトロンガラス巻銅線

古河電気工業株式会社

ガラス巻銅線はガラス繊維を導体上に横巻してある関係上、屈曲した場合にはどうしても絶縁被覆層に亀裂が入りやすく、また摩擦あるいは打撃等加工の際における機械的外力に対する抵抗性が少ないため、改善が望まれておりました。

当社においては、これらの短所を改善するため、テトロン繊維とガラス繊維とを組合せ、両者の繊維を相互に固着させ、かつ導体とよく密着させ、強靱な絶縁層をもった「古河テトロンガラス巻銅線」を製造しております。

当社のテトロンガラス巻線の特長は、絶縁被覆が導体に強固に固着しているために機械的強度、とくに耐打撃性、耐摩耗性が従来のガラス巻線に比較し、きわめてすぐれているので、苛酷な取扱いにも充分耐えられるという点にあります。

例えば、耐摩耗性をガラス巻線と比較した場合、丸線では3ないし4倍、平角線でも2ないし3倍程度を保持しており、また耐打撃性については、以下説明するようにきわめて優秀でありますので、加工に際しての安全性が充分確保されるものと信じております。

## 構 造 (第1表参照)

## 試験方法

上記構造の供試線をそれぞれ直径 19.5 mm の鉄製の台に置き、上方 50 cm の高さから直径 43 mm、重量 1 kg の円形荷重を落下させ、試料に繰返し打撃を与えた場合の絶縁被覆の変形破壊状態は、第1図のとおりであります。

第 1 表

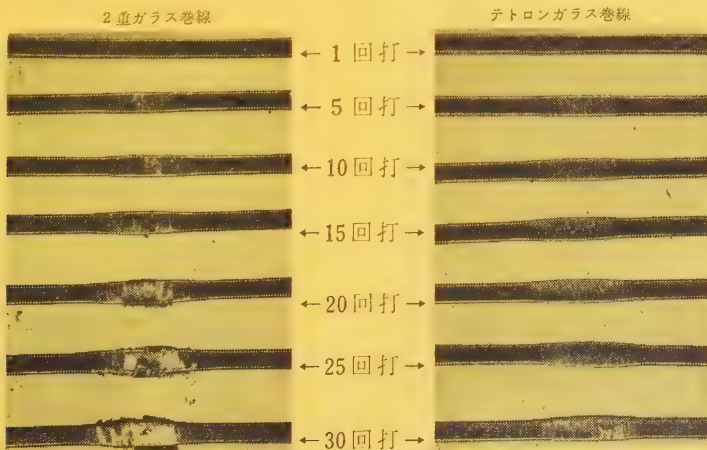
項 目 種 別	測定方向	導体外径 ( $\bar{X}$ ) (mm)	仕上外径 ( $\bar{X}$ ) (mm)	被覆厚 (mm)
2重ガラス巻線	厚さ方向	3,003	3,325	0.1610
	幅方向	4,990	5,275	0.1425
2重テトロン ガラス巻線	厚さ方向	2,998	3,293	0.1475
	幅方向	5,009	5,289	0.1400

試験結果 (第2表参照)

第 2 表 打撃試験における  
破壊電圧の変化

種 別 回 数	2重ガラス巻線	2重テトロン ガラス巻線
1	640, 780, $\bar{X}$ 710	590, 580, $\bar{X}$ 585
5	460, 590, $\bar{X}$ 525	480, 550, $\bar{X}$ 515
10	80, 70, $\bar{X}$ 75	600, 590, $\bar{X}$ 595
15	430, 0, $\bar{X}$ 215	430, 480, $\bar{X}$ 455
20	0, 0, 0	400, 500, $\bar{X}$ 450
25	0, 0, 0	130, 280, $\bar{X}$ 205

以上簡単に「古河テトロンガラス巻銅線」について御紹介申上げましたが、その詳細につきましては当社平塚電線製造所の技術資料 M-9038-G 並びに「テトロンガラス巻銅線」の標準仕様書を御参照願います。



第 1 図 打撃試験後の外観



製品  
紹介

## 各種ゴムモールド付ケーブル

昭和電線電纜株式会社

従来からゴムモールド端子、またはこれと接続器とを組合せてケーブル相互を接続する方法が行なわれておりますが、当社におきましても通信関係、照明関係など小容量のものから、最近では電力ケーブルなど大容量のものまで製作し非常に好評を得ておりますのでこれらにつき代表的なものを御紹介します。

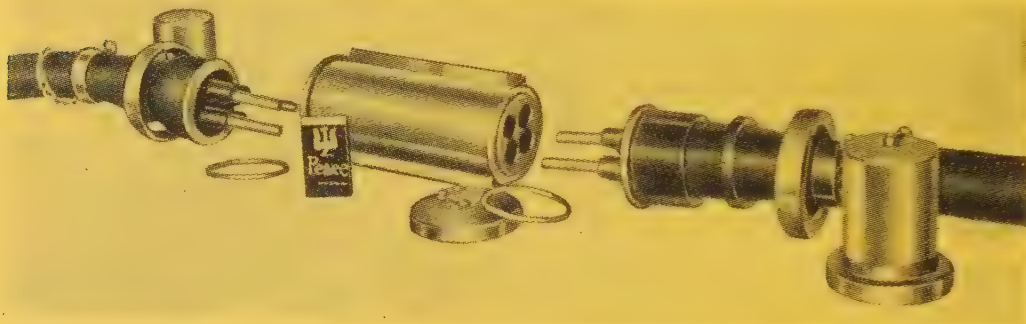
## 1. 遮蔽付高圧ケーブル接続端子

ドレジャークーブル、電気シャベルなどに使用さ

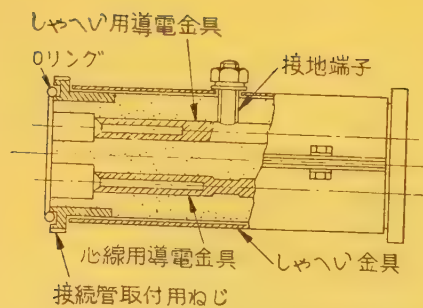
れる 3 kV または 6 kV の高圧ゴムケーブルの接続用として第 1 図にあるような中間アダプターを介して接続します。第 2 図、第 3 図はこれらの断面を表わしたものであります。

## 2. 照明用端子付ケーブル

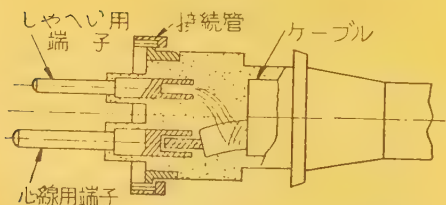
(1) 飛行場の滑走路、誘導路などの標識灯には直列配電方式が採用されておりますが、この回路に挿入する変圧器、ケーブルには第 4 図、第 5 図にあるよう



第 1 図 遮蔽付 3 心高圧ケーブル接続端子

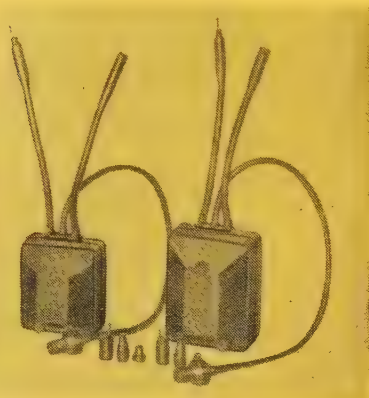


第 2 図 アダプタ縦断面図

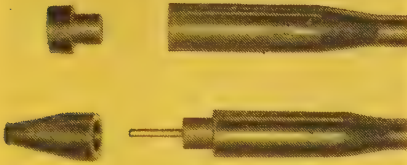


第 3 図 コネクター縦断面図

なゴムモールド変圧器、端子付ケーブルなどが使用されており、直埋して使用しておりますが、端子の水密性は非常に優れております。



第 4 図 ゴムモールド変圧器



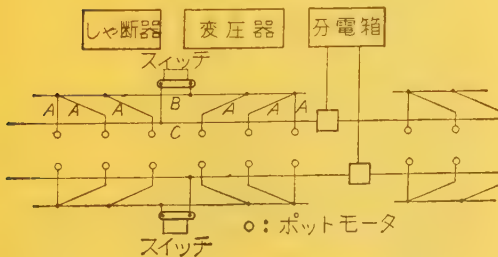
第 5 図 ケーブル端子

(ロ) 野外演習などの露営地で、各天幕の内部照明を行う照明セット（発電機を含んだもの）に第 6 図にある端子付ケーブルおよび十字型の接続器が使用されております。

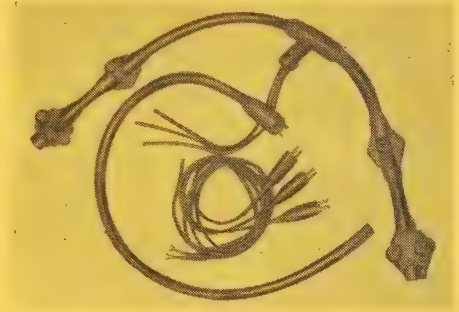
第 6 図 照明セット用端子付ケーブル  
および接続器

### 3. レイオンプラント配電用端子付 および差込付ケーブル

レイオンプラントのポットモーターに給電するため第 7 図の ABC の回路に端子付および差込み付のケーブル（第 8 図）を使用しておりますが、これはプラントとともにユーゴスラビヤ、印度および台湾などに多量に輸出されております。



第 7 図 ポットモーター配電回路図

第 8 図 レイオンプラント用端子  
差込付ケーブル

### 4. 通信用端子付ケーブル

第 9 図、第 10 図は防衛庁で使用されている野戦用の 2 対および 5 対の屋外通信線で、規定条長のことを迅速に接続するため端子付のケーブルとなっており、2 対のものには端子内に装荷線輪が内蔵されております。



第 9 図 2 対端子付通信ケーブル



第 10 図 5 対端子付通信ケーブル

製品  
紹介

## リードセクターとリードリレーの高能率測定器

安藤電気株式会社

## リードセクター試験台 LRE-1 A 型

## 1. 規 説

本器はリードセクターの動作特性、すなわち周波数に対する同調曲線をブラウン管上に描かせて、その動作特性曲線を見ながらリードセクターの調整を簡易、迅速に行なうことができるものであります。

構造は、リードセクターの調整試験に便なるよう卓状の試験台に、必要な試験器（発振器、回路試験盤、波形観測盤およびリードセクター支持雲台）が取り付けられており、寸法は約 1,300×1,195×950 mm であります。

発振器は、リードセクターに与えられる信号と、ブラウン管オシロスコープの掃引に使用され、必要に応じて測定周波数の較正を高確度で行なえるよう、発振周波数の 100 倍の周波数を取り出せるようになっております。リードセクターは、機械的位置の自由に変えられる雲台に取付けられて回路試験盤に接続され動作曲線を描かせるに必要な操作を行ないます。

波形観測盤は、動作曲線を直視する部分で、ブラウン管オシロスコープの垂直軸には、リードセクターの出力電圧に比例した電圧が加えられ、水平軸は測定周波数に比例した電圧で掃引され、リードセクターが動作すると、輝度変調がかけられてブラウン管上に動作曲線を描かせるようになっております。

## 2. 規 格

出力周波数 250 c/s～1 kc  
計数用周波数出力 100 倍の周波数を取り出し得る

出力電圧掃引時間 2 sec, 1 sec, 0.75 sec, 0.5 sec  
出力電圧掃引幅 1, 1/2, 1/4  
出 力 33 dB  
出力インピーダンス 5 k $\Omega$   
ブラウン管目盛垂直軸 最小 0.1 mA / div  
最大 1 mA/div  
ブラウン管目盛水平軸 最小 2 cps/div 約 8 mm  
使用ブラウン管 130 HB 7 A

## リードリレー総合試験台 LRE-2 型

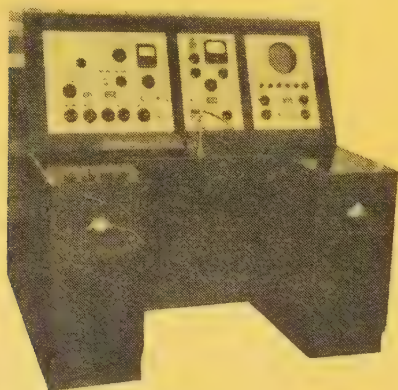
## 1. 概 説

本装置は、リードスイッチおよびリードリレーの感動、不感動特性、動作、復旧時間、接点接触抵抗および接点接触振動波形などを測定し、試験するものであります。

治具台にリードスイッチまたはリレーを挿入した後ダイヤルおよび電鍵切替のみで下記の測定を行なうことができますので、各測定ごとの段取りの必要もなく極めて能率よく作業ができる便利なものであります。寸法は約 1,050×1,400×700 mm であります。

## 2. 規 格

時間測定範囲 0.1 ms～9.9 ms  
接触抵抗測定範囲 0.1 M $\Omega$ /0.3 M $\Omega$ /1 M $\Omega$ /10  $\Omega$  4 レンジ  
接点接触振動波形 掃引切替 0.1 ms/cm～100 ms/cm  
コイル用電源電流調整範囲 1 mA～200 mA



リードセクター試験台 LRE-1 A 型

リードリレー  
総合試験台  
LRE-2 型



UDC 523.72.004.14: 620.9

## 太 陽 エ ネ ル ギ ー の 利 用

講 演

35-3

三 井 寿 雄†

## 1. は し が き

あらゆる生物が今日生存を維持しつつあるのは太陽エネルギーを利用するからである。なかでも人類は衣食住全般にわたって太陽エネルギーをもっとも効率よく利用する。すなわち生存に必要な衣食住の素材をサイクリックに作ることに利用するばかりでなく、文明生活の根源である電力をも太陽エネルギーのサイクリックな所産である水力から発生する。また一方では太陽エネルギーの過去の蓄積である石炭や石油などの化石燃料を地下から掘出して利用する。

このようにわれわれの日常生活をふり返ってみると、そこに意外なほど太陽エネルギーが利用されていることに気がつくが、多くは平素意識せずに見過しているのが実情である。最近国際的な規模で人の口に上る太陽エネルギーの利用という課題の中には、太陽エネルギーを石炭や石油、ウランやトリウムなど、今日われわれが依存しつつある地下資源が枯渇するきわめて遠い将来の主要なエネルギー源として利用するという問題も当然含まれるし、またそれを説く人もあるわけであるが、実際には必ずしもそのような超長期的な観点から太陽エネルギーが考えられているわけではなく、未利用エネルギーの積極的利用という現実の経済技術問題として考えられているというのが本当である。

太陽エネルギーは量的に無限であり、かつ原価を伴わないものであることを最大の長所とするが、供給のままではエネルギー密度が小さく、かつ地上の一点では昼夜と気象によって間欠的なエネルギー源とならざるをえないことを最大の欠点とする。したがってこのような短所を克服しようところのみ経済的な太陽エネルギー利用の分野があるのであって、現状における太陽エネルギーの利用活動はこれらの分野の開拓と、そこに適用される経済的な利用方途および機器の開発に限られていて、しかも現在はすべて試行の段階にあるといつてよいと思うし、将来ともこの段階は長く続きそうである。今日これらの利用分野の中には、

日常生活と深いつながりのある温水、蒸留、冷凍、空気調和などがあり、業務的な意味をもつ発電や太陽炉などがある。本稿ではこのような種々の太陽エネルギーの利用法を展望してみたいと思う。

## 2. 日 射 量

日射量は太陽エネルギーを利用するあらゆる施設や装置の設計および運転に不可欠なもっとも基本的な数値である。日射量の表わし方には通常2とおりあって、入射光線に垂直な単位面積の仮想平面を考え、単位時間にこの中に入射する熱量で表わす場合と、単位面積の水平面に単位時間に入射する熱量で表わす場合がある。前者は直達日射量、後者は水平面日射量とよばれる。

元来地上 100 km 以上の高空になると、空気は相当希薄になり、そこではほとんど純粋に近い太陽放射が得られるといわれる。そのような場所での入射光線に直角な平面内の日射量を太陽定数とよんでおり、太陽と地球が平均距離にある場合に換算すると、その値は  $2.00 \text{ cal/cm}^2/\text{min} \approx 1,400 \text{ W/m}^2$  にきわめて近いとされている。人工衛星の利用するのは大気の影響の全くないこの値の放射エネルギーである。

しかしこの放射が大気圏にはいってくると、含まれる波長成分によって程度の差はあるが一部は空気、水蒸気、ほこりの分子に衝突して四方に散乱し、一部は水蒸気およびオゾンに吸収されてエネルギーを失いつつ地表に到達する。すなわち地上に供給される直達日射量は、太陽定数から散乱損と吸収損を差し引いた残りの透過分である。その値は一地点の地理的条件、季節、時刻、気象条件などによって変動するが、概略値としては晴天の南中時で  $800 \sim 1,000 \text{ W/m}^2$  とみればよいであろう。この放射は太陽炉のように晴天の南中に近い時刻に太陽を指向するように追尾をする機器にとっては重要な数値である。

しかし一般の太陽熱利用装置では追尾をすることはまれであるし、さらには時刻を限って運転をすることをせず多くは常時運転であるから、日射条件としても雨天のときもあり、晴天でも雲量によって日射量が違い、また放射条件としても夜間は雲や付近の建物などの影響も利くので、それらの設計には水平面日射量を

† 工業技術院名古屋工業技術試験所

本稿は昭和 35 年 3 月 9 日電気学会東海支部において講演されたものである。

基礎におく。しかもその水平面日射量には設置点のある季節、ある時刻における特定な測定値を使用することをしないで、数年間の継続的な測定に基づいた統計的な数値を使用するのが一般である。このようにしないと、でき上がった機器の容量に過不足を生ずるからである。

それではわが国における水平面日射量はどのくらいであろうか。一例として東京における1940～1945年の6個年間の水平面全日射の月別日間積算量をみると、最高は5月の4,104(7月は4,078)、最低は12月の1,897、全年平均では3,098 kcal/m<sup>2</sup>/day となっている。したがって1hあたりでは3,098/24=130 kcal/m<sup>2</sup>/h=150 W/m<sup>2</sup>ということになる。全日射というのは日射計に感知されるあらゆる放射を含めた日射量であって、雲や付近の建物からくる放射などをすべて含んでいる。この値は東京のものであるけれども、外国においても同緯度であればだいたいこの程度の数値を採用する。いずれにしてもこの値は太陽定数の10%、晴天の南中時の直達日射量の20%に満たない放射量であるけれども、特殊目的の機器を別にすれば重要な数値である。

### 3. 太陽エネルギーの利用

先にも述べたように、試行の段階ながら今日各国とも太陽エネルギー利用の研究活動が盛んである。その範囲は温水、蒸留、空気調和といったわれわれの日常生活につながるの深いものから、材料研究用としての太陽炉、さらには発電というような分野におよぶ。利用の仕方のほうからみると、水平面日射のような供給のままの放射密度、あるいはこれをやや濃くした程度で利用するものもあり、直達日射をさらに濃縮して高密度の放射束として使う場合もあって、かなり多岐にわたっている。ここではこのような利用法のいくつかを紹介してみたいと思う。

(3・1) 温 水 温水は太陽エネルギーの利用法としてはもっとも素朴なものであるが、実行が容易であるうえに日常生活とも深い関係があるので、将来伸びるものの一つであると思う。すでにわが国においても農村にはかなり広まっている。一世帯で使う水量は人数や目的によって違いますが、かりに1日200lを必要とするものとし、湯の温度を55°C、冷水の温度を15°Cとすると、必要熱量は $8 \times 10^6 \text{ cal}$ 、すなわち $8 \times 10^6 / 24 \text{ cal/h} = 400 \text{ W}$ となる。日射量を150 W/m<sup>2</sup>、受熱器の効率を60%とすると、 $400 / (150 \times 0.6) = 4.3 \text{ m}^2$ が必要な受熱面積である。受熱器を屋根の南斜面の一部に設置すれば効果的である。受熱器にはいろいろの形

式のものがあるが、アルミニウム板をロールボンドで接合したパイプシートを使うのも一法である。このような受熱板の表面を黒く塗り、底に熱絶縁材料を敷いた箱に収めて、ガラスのおおいをかければ伝導損および放射損を減じて受熱効率を増す。

(3・2) 蒸 留 水の蒸留に太陽エネルギーを利用することは非常に有望である。世界的にみると海浜にありながら真水に恵まれない地方が相当にあり、アメリカにおいてすらそのような地方がある。そのような地方における真水への欲求はわれわれの想像を絶するものがあるらしい。

方法としては透明なおおいをかけた底の浅いみぞに海水を導くだけの簡単なものであるが、みぞの中の海水に無害な黒色染料をいれれば一層効果的である。ナイロンで有名なアメリカのE.I. デュボン社は自社製品の用途開拓のためにフロリダに海水蒸留の実験場もっている。そこでは海水に混入すべき黒色染料の代わりに自社で作るオーロンの綿を黒色に染めたものを使用し、みぞの上にかけるおおいの材料としてこれまた自社で開拓したTesar と称するPolyvinyl fluorideのフィルムを使用する。温床に使用するビニールのようなものであるが、硬いフィルムで機械的、物理的性質にすぐれ、なによりもフィルムの化学的構造から耐候性に富むことを強調し、戸外でも10年間の使用に耐えるという。しかし値段のほうも高く現在はまだ1m<sup>2</sup>あたり60セントくらいもする。また真水1m<sup>3</sup>あたりのコストも30セントくらいにつく。

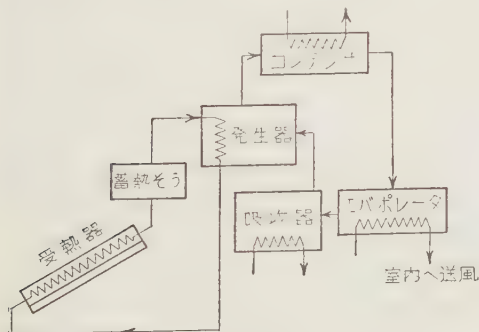
蒸留水の収量は日射量その他多くの条件によってまちまちであるが、5kg/m<sup>2</sup>/day程度にはなるものようである。現在このようにして作る真水のコストは相対的に高く、普通水の数倍、十数倍であるが、これも次第に安くなり、工業用水として考えられるときがくるであろう。

(3・3) 冷蔵、暖冷房および空気調和 ガス冷蔵における加熱炎の代わりに太陽熱を用いれば太陽熱冷蔵が可能である。この場合放物線の断面をもつ細長い反射体を用意し、焦点を結ぶ直線上加熱管を置いてその中を液安その他の冷媒を流すわけである。この反射体を太陽に追尾させれば一層効果的である。南仏ピレネー山中にあるフランス国立の太陽熱研究所 Laboratoire de l'Énergie Solaire で小規模ながらこの実験が行われている。ただし冷媒を加熱できるのは日中だけであり、しかも間欠的であるから冷蔵の負荷を大きくするのは無理であろう。記録によるとソ連ではすでに1937年に中央アジアのトルクメンにおける運河工事に従事する労働者の食料貯蔵に類似の冷蔵法を採用し

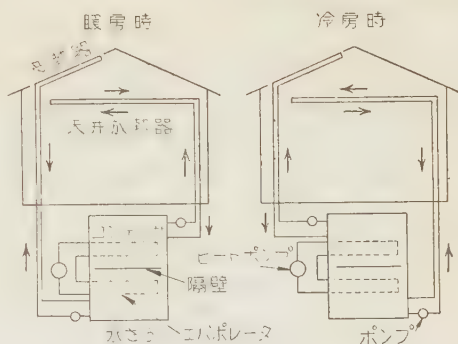
たということである。

太陽エネルギーの利用のうちでもっとも将来性に富むものの一つは次に述べる暖冷房と空気調和である。このうち暖房はもっとも素朴であって、温水器と同等な受熱器で太陽熱をうけて水温を上昇させ、これを室内の放熱器に送って暖房する。あるいは受熱器に空気を送って熱気を作り室内に送り込む方法もある。ただし夜間は受熱できないから、昼間に貯蔵した温水の熱を使うか、熱気式であれば昼間熱気を岩石塊の層の中を通して加熱し温度上昇として貯蔵した熱を出して使う。いずれにしても暖房負荷は夜間のほうが大きいから、装置の設計は夜間に対して行わなければならない。しかし石炭、ガスおよび電力などによる他の暖房法の補助に使う目的ならば、さほど大規模な装置にはならないであろう。

冷房は原理的にはさきに述べた冷蔵と変わらない。吸収式冷房機を使い冷媒の加熱に太陽熱を使うものである。いまかりに  $20 \times 20 \times 10$  m の室内を冷房するのに最大 40 kW の負荷を必要とするものとする。冷房機の成績係数を 50% とすると必要な入力  $40/0.5 = 80$  kW である。通常冷房を必要とする時期は夏であるから地面においても相当な日射量があり、特に冷房専門に受熱器を設けるときは南面する（北半球で）屋根の上に適当な角度で設置するのが常識であるから、直達日射に近いものが得られる。曇天のときにはそれだけ冷房負荷が少なくてすむので多く受熱する必要がない。したがって盛夏の日射量として  $800 \text{ W/m}^2$  を見込み、受熱器の効率を 50% とみると、受熱量は  $800 \times 0.5 = 400 \text{ W/m}^2$  となる。よって必要入力 80 kW に対し  $80/0.4 = 200 \text{ m}^2$ 、すなわち屋根の半分の面積の受熱器があればよいことになる。第 1 図は太陽熱利用の冷房法を模式的に描いたものである。受熱器は発生器を暖める温水を作るだけである。受熱器と発生器の間に蓄熱そうを置くのは日射の変動に対応するコンデ



第 1 図 太陽熱利用冷房法



第 2 図 太陽熱利用空気調和法

ンサの役目をさせるためである。冷房のほうは一般のものと変わらない。冷媒としては Freon-21 と Tetra-ethylene glycol dimethyl ether の 2 成分系のものが使われる。

年間を通じ必要に応じて暖冷房を行い、空気調和をすることも可能である。この場合には圧縮機形のヒートポンプを併用する。第 2 図はこの方式の太陽熱利用空気調和法の模式図である。

まず暖房時についていうとタンクの底部にある冷水を屋上の受熱器に導きそこで太陽熱を与えて再びタンクにもどす。タンクの上部は適当な温水になるからこれをポンプで室内の放熱器に送って暖房する。場合によっては温水と空気の熱交換を行って温気を室内に送り込む。晴天ならばこれだけでよいが、曇天その他で太陽熱だけでは不足する場合にはヒートポンプを働かせて下方から上方に熱を汲み上げ、上方の水温を必要値にする。このとき下方の水温は下がるが、受熱効率によってこれによっておしり上昇する。

冷房の場合には上と全く逆のサイクルを行わせればよい。すなわちタンクの上方の温水を夜間屋上の放熱器（暖房のときの受熱器）に導いて冷却し、タンクの下方に貯蔵して日中この冷水を室内に送って冷房する。外気の温度が高く放熱が充分でないときにはヒートポンプを働かせて暖房時と同じように下方の熱を上方に汲み上げる。この場合、放熱器の効率は上昇しタンクの下方の水温を下げる。放熱は心ずしも夜間に限らず、降雨の場合には日中でも充分放熱する。一般に暖房時にはヒートポンプを動かす時間が比較的短く、冷房時には、ある時間中は連続的に動かす必要があらう。第 2 図では一つのタンクを隔壁によって上下に仕切っているが、タンクを二つ設けて高低両温用に使い分けるのも一法である。一般にこの形式の空気調和装置は施設に金のかかることを欠点とするが、空気調和を電力だけにたよる場合にくらべると、運転費は 1/3



程度に低下する見込みである。

(3・4) 動力 太陽エネルギーは間欠的なエネルギーであるから、現状では工業的な利用に耐えうる大きい動力源とはなりにくい。また他に経済的な動力源のあるところでは将来とも競合しうる動力源とはなりにくいであろう。しかし小規模な動力源としてならば、あるいは他に動力源のない特殊な場合にはこれに頼らなければならないこともあって、前途は心ずしも暗くないと思う。以下に太陽エネルギーの動力的利用法のいくつかを展望することにするが、電力については素人の論議であるから、不当な点はご叱正をいただきたいと思う。

(a) 農村用動力 電力や石油による動力が手近かに得られるところでは問題にならないと思うが、それらが全くない場合には有望である。脱穀や揚水など農村で心要とする動力は通常  $1\text{ kW}$  以下で、しかも間欠的に使われるものが多い。 $1\text{ kW}$  の機械的出力をとるのにどのくらいの受熱面積を心要とするかを調べてみると、直達日射量を  $800\text{ W/m}^2$ 、受熱器の効率を  $50\%$  とすれば受熱量は  $400\text{ W/m}^2$  となる。 $20^\circ\text{C}$  の水を  $200^\circ\text{C}$  まで熱して利用するものとする、この間の温度差で動作する熱機関の熱力学的効率は  $38\%$  になるが、これは機械損その他の不可逆的損失によって  $14\%$  程度にまで減少する。結局、機械的出力は  $400 \times 0.14 = 56\text{ W/m}^2 = 0.056\text{ kW/m}^2$  となり、 $1\text{ kW}$  集めるのに  $1/0.056 = 18\text{ m}^2$  の受熱器を心要とする。太陽熱エンジンについてはアメリカのような国でもかなり真面目な検討が行われており、充分実用に耐えるものが作れるということであるが、現状では量産するだけの需用がないので、高価なものにつくというのが一般の見解である。

(b) 燃料の育成 燃料の育成というのは森林を育成して熱機関用の燃料を作ることである。これが可能かどうかは国や地方の事情によって決まることであるが、東南アジアやインドなどの高温多湿の地方では必ずしも夢物語りではないと思う。森林としてはなるべく成長が早く、燃料にしたときに発熱量の大きいものを選ぶ。ユーカリ樹 *Eucalyptus gloaulus* の成長は材木にして森林  $1\text{ m}^2$  あたり  $2.4\text{ kg/year}$  になるという記録がある。発熱量をかりに  $5,000\text{ cal/g}$  とみると、この材木に貯えられるエネルギーは  $2,400\text{ (g/m}^2 \cdot \text{year)} \times 5,000\text{ (cal/g)} = 1.6\text{ W/m}^2$  となり、水平面日射量を  $200\text{ W/m}^2$  とするとその  $0.8\%$  にあたる。

森林を育成する代わりに砂糖きびを栽培するののも一法である。ところによっては年間を通じて継続的に栽培をすることができる。発熱量はやや低いが生長量が

ユーカリにまさるので  $2\text{ W/m}^2$  はとれるという。

もちろんこのような燃料を燃焼して蒸気機関を動かすにしても、ボイラの効率、機関の効率などをあわせて考えなければならないから、出力としては森林あるいは耕地  $1\text{ m}^2$  あたりには  $0.2\text{ W}$  以下の出力しか得られないけれども、面積さえ広くしうるならば相当の工業的動力源になりうるものである。昨秋ホノルルの郊外で精糖工場を見学する機会をもったが、そこでは糖蜜をしぼった甘しょのチップをボイラにたき、 $150\text{ psi}$  という低圧の蒸気で蒸気機関およびターボ発電機による  $3,000\text{ kW}$  の電力および  $2,500\text{ HP}$  に上る機械的動力を発生している。工場側では廃品の利用ということになるだろうが、これなどは太陽熱の動力的利用のもっともよい例であると思う次第である。

このほか植物は発酵によってアルコールにすることができ、これを内燃機関で燃焼させて動力を得ることも可能である。しかし同一重量の植物から得られるアルコールの量は少ないから、発熱量は多少大きくても直接同一重量の植物を燃焼する場合にくらべて半分以下の動力しか得られないという。輸送の便を別にすれば発酵を利用するのは不経済とみられている。

(c) 光合成 タンクや池の中でクロレラのような藻類を光合成で連続的に繁殖させ、引き上げて燃料に使うことは全然物質の消耗を伴わない点で注目されるが、外部にとり出せる動力は日射量の  $1\%$  以下で、しかも発熱量が小さいから実現ははなはだ悲観的である。

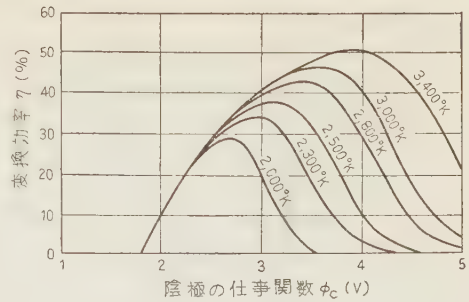
(d) 熱電対 太陽エネルギーからの直接発電は宇宙科学からのさしせまった要請もあって現在および将来の重要な研究課題と思われる。このうち Thermo-electric な効果を利用する熱電対の変換効率は同じ温度差で働く熱機関より小さく、熱力学的効率の  $1/4$  程度であるといわれる。将来材料の進歩によって効率はいくぶん上昇するであろうが、それに伴って材料費がかさんでいく見通しである。いま熱起電力を高く見積って  $4 \times 10^{-4}\text{ V/}^\circ\text{C}$ 、温度差を  $200^\circ\text{C}$  にとると、 $20\text{ V}$  に対しては  $250$  対を心要とすることになるが、端子にとり出せる起電力としてはこのうちの  $10\text{ V}$  程度であろう。したがって出力が  $1\text{ kW}$  になるにはこの  $250$  対の内部抵抗が  $0.1\Omega$  よりも小さくなければならない。金属を材料に使うので酸化による寿命の問題がつきまとうので温度差を大きくとることができないこと、高価な材料を必要とすることなどから、熱電対による直接変換は必ずしも有望とはいえないようである。

(e) 光電池 電気エネルギーへの直接変換法の中で現在および将来にかけてもっとも有望と考

えられているものは、半導体の Photovoltaic な効果を利用する光電池である。なかでも現在もっとも優勢なのはシリコン太陽電池である。人工衛星の電源として使われているのは周知の事実であるが、わが国においてもマイクロ回線の無人中継局の電源、灯台の電源として数十ワットのものが実用になっている。しかしなにもぶんに現状では値段が高いので、よほど特殊な目的以外には使われていない。アメリカにおける昨年夏の資料によると、1 年以内にシリコン太陽電池の平均効率は 10~12 %、実験室的には 16 % 程度のものまでできるであろうと報じている。しかし値段のほうも相当に高く、現在効率のよいもので 200 ドル/W、低いものでも 100 ドル/W くらいである。この値段はわが国のものと対等ではないかと思う。見通しとしては効率の増進と製作費の低下により、1961 年中に 1/2、1965 年までには 1/4 に下げられるという。これも昨年夏の資料であるが、その当時 1 个月に作りうる太陽電池の量は太陽 エネルギー を 1.5 kW の電力に換えるものに相当し、6 個月以内に 10 kW 相当量に増す見込みを報じたものがある。

現在の太陽電池は主として太陽放射の中の特定の波長成分に対してのみ鋭敏な材料からなるが、エネルギーギャップの異なる材料をはり合わせて太陽電池を構成し、最高のエネルギーギャップの材料を太陽に向けて設置し、この層でまず最短波長の放射を吸収し、漸次波長に応じて次層以下で吸収を続けてゆくと、太陽放射の中の光子のほとんど全部を吸収することができ、変換効率は 40 % 近くになると説く人もある。このほか将来の太陽電池として Gallium arsenide, Cadmium sulphide などが注目されているが、現状での変換効率はまだ低く、前者が 6.5 %、後者が 6~9 % 程度である。

(f) 熱電子二極管 真空あるいはある種の低圧ガス（セシウムガス）中に熱陰極と冷陽極を対向させ Thermoionic な効果を利用して太陽熱を電気的エネルギーに変換しようとするものである。現在実験室の域を出ない段階であるが、研究には力が入れているようにみうけられる。動向としては陰極用に仕事関数の大きい材料、陽極用に小さい材料を探索して組み合わせること、陰極の温度を上げることにあるようである。第 3 図は陽極の仕事関数をセシウム相当の 1.8 V にとり、陽極の温度が充分低くて逆向きの電流が流れないものとして計算された熱電変換効率を示すものである。パラメータは陰極の温度である。陰極の温度を 2,500°K くらいにすると 40 % 近い効率が得られることになる。現実にも太陽熱用に設計されたもので

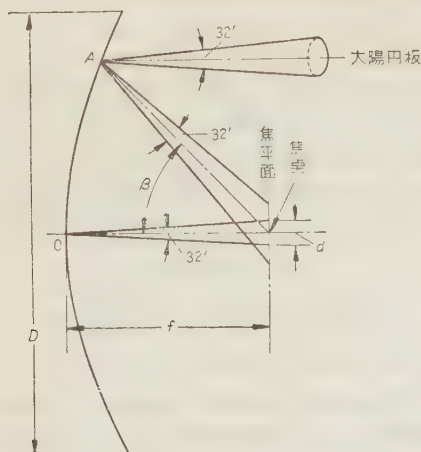


第 3 図 熱電子二極管の変換効率

はないが、15~20 % の効率が測定されているという。しかし光電池が光子を利用するのに対して、熱電子管は熱電対とともに一種の熱機関と考えられるから、一般の熱機関と同じ性質の制約をうけるのはもちろん、陰極からの再放射の防止、陽極の冷却など特有な困難をもっているので実用化までには日時を要しそうである。端子起電力は陰極の単位面積あたりに 20 V/cm<sup>2</sup> まではいけそうだという。

(g) 太陽炉 太陽炉は太陽放射を濃縮する一つの媒体である。しかし使用目的からいうと、以上に述べた各種の利用法とは異なり、研究用という色彩が強い。現在世界中を合わせると数十基の太陽炉があるが、工業用に使用されているものはなく、もっぱら材料の試験や合成に使われているものばかりである。利点としては熱源自身に原価を伴わないこと、きわめて純粋な熱源であること、照射の瞬間から有効な加熱を行いうることなどをあげることができる。その反面炉の使用が気象条件に左右されることを最大の欠点とする。また特に高密度の放射束を得ようとすると炉全般の精度を著しく高めなければならないから、高価なものになることも欠点の一つといえそうである。

太陽炉の主体としてもっとも一般的なものは反射鏡である。レンズで光束を絞ることも過去に行われ、いまもパサデナの CIT に現物があるが今日では全くすたれている。反射鏡式でもっとも普通なものは回転放物面反射鏡を使うものである。これは回転放物面反射鏡自体の好ましい幾何光学的性質によることはもちろんであるが、今次大戦を契機とするレーダの発達により不要となった探照灯用の反射鏡の転用ということにも由来していると思う。したがって各国とも口径 1.5 m または 2.0 m の反射鏡を主鏡とし、これを直接太陽に指向するか、あるいはヘリオスタットと称する平面反射鏡を組み合わせる太陽炉を構成するのが現状である。日本、ドイツはガラス製の鏡体に銀の裏面めっきをしたもの、アメリカでは銅の鏡体の表面にロジウム



第4図 回転放物面反射鏡の光学

のめっきをしたものを使用する。

第4図は太陽炉の原理となる放物面反射鏡の幾何学を示したものである。太陽は視角  $32'$  をもつ有限な距離にあるから、鏡の中心  $O$  で反射する光線は  $f$  を焦点距離とするととき焦平面上に

$$d = 2f \tan 16' = 0.0093f$$

の直径の太陽像を結ぶ。鏡面上の任意の点  $A$  からの反射光はその位置によって焦平面上ではさきの  $d$  円をその内部に含む円の内部にちらばる。したがって反射鏡全体としては焦平面内に中心部にもっとも高い放射密度をもつ  $d$  円、その外側に鏡の口径で決まる放射密度の低い円形の半影部をもつようになる。通常放射密度というのは前者の最大密度を指す。その量は反射鏡が完全で、太陽面の輝度が円板上一様であるとする

$$E_m = (4\gamma E_u / \alpha^2) \sin^2 \beta_m$$

となる。ここに  $E_m$  は  $d$  円内の単位面積あたりの放射量 ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )、 $\gamma$  は鏡面の反射率、 $\alpha = 2 \tan 16' = 0.0093$ 、 $E_u$  は照射時の直達日射量 ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )、 $\beta_m$  は第4図から諒解される鏡の縁辺における反射角である。鏡の口径を  $D$  とすると  $\beta_m$  は  $n = D/f$  の関数であって  $n=0$  における  $\beta_m=0$  から  $n=4$  における  $\beta_m=90^\circ$  までほとんど直線的に増加する。上式からわかるように、 $E_m$  を高めるには反射率  $\gamma$  をよくするか、 $E_u$  の高い設置点と気象条件を選ぶか、 $\beta_m$  を大きくするような  $n$  を選ばなければならない。このうち  $\gamma$  を  $0.8$  程度にすることはそう困難ではない。 $E_u$  はすでに述べたように、条件のよいときは  $0.1 \text{ W}/\text{cm}^2$  前後にとられる。 $n$  はいくら大きくてもよいが、 $4$  以上では試料の背面からも放射がはいりようになるうえに実際そ

のような鏡は作りにくいので意味がない。 $n=3$  という事例すらまれで、前述したような軍用探照灯の転用のせいもあって、ほとんどが  $2.3$  前後である。

太陽炉の性能を云々するのに俗に何度まで出せるかという表現を用いるが、これは正しいことではない。物体の温度は大きさ、形状、反射能、吸収能などの光学的性質、熱容量、熱伝導率、熱放射などの熱学的性質に左右されるからである。融点の高い材料でも着色しているものは溶けやすく、逆に融点は低くても白色に近く放射を反射するものは溶けにくいなどの差を生ずるのがこれである。このようなことから、太陽炉の集中性能を

$$E_m/E_u = 4\gamma/\alpha^2 \sin^2 \beta_m$$

で表わしておけば、右辺は日射量に関係しない量であるからもっとも正しいものとなる。 $E_m/E_u$  が  $20$ ... をこすようであれば、その太陽炉は世界的にみてもまずトップクラスにはいる。

実在の物質では完全黒体はないが、かりに完全黒体であるとすれば、 $E_m$  の放射密度をもってその温度は Stefan-Boltzmann の法則によって

$$T = \sqrt[4]{E_m/5.735 \times 10^{-8}} \text{ K}$$

になるはずである。 $\gamma=0.9$ 、 $n=2.5$ 、 $E_u=0.1 \text{ W}/\text{cm}^2$  とすれば、 $T=4,706^\circ \text{K}$ 、 $\gamma=0.7$  でも  $4,428^\circ \text{K}$  となる。現実の反射鏡では集中性能にもっとも重大な影響をおよぼす幾何学的精度に欠けるのが一般であって、これほどの性能を出せるものはない。特にこの鏡を直接太陽に指向する代わりに、使用上の便宜のため平面反射鏡を光路の中に入れ、それによる反射光を定置の放物面反射鏡の光軸方向にいれるヘリオスタット式の太陽炉では、平面反射鏡の幾何学的精度と反射率が相乗的に利いてくるので、焦平面における放射密度はそれだけ低下する。このほか太陽炉の運転にはこの鏡の追尾機構その他の装置が必要であるが、本太陽炉の運動自体がもっとも規則的なものの代表であることから、追尾機構には原則的な困難はなく、追尾精度そのものも反射鏡の幾何学的精度にくらべれば、集中性能に対して二義的な効果しかもたないのは幸である。

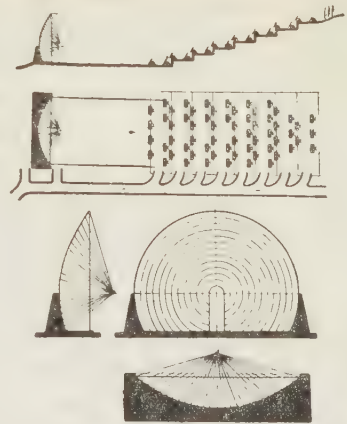
すでに述べたように、太陽炉の利点を生かしてこれを耐熱材料の物性、純化、合成の研究に供しようとする意欲は各国とも盛んである。特に宇宙飛しょう体の大気層への再突入の際に発生する高温現象を、太陽炉によって地上で擬似させることが一つの課題となっている。しかしその使用が気象に左右されるという欠点は、研究速度の要求される今日、特に重大であって、筆者の見るところ新たに作る口径  $2 \text{ m}$  までの小形のもの、太陽の代わりにアークを熱源とするいわゆる



Image furnace の採用に向いつつあるものようである。これは必要なときにはいつでも所望の条件で使うことができるからである。口径 2 m の反射鏡といえど日射量を  $1,000 \text{ W/m}^2$  としても入力は 3 kW である。これに対して 75 V, 150 A 程度の炭素アークを使用すると入力 10 kW になるが、これでも融点  $3,000^\circ\text{C}$  以上といわれる酸化トリウム ( $\text{ThO}_2$ ) を溶解するのである。もっともアークは点光源に近いものであるから、これを平行光線にするにはいま一つの放物面反射鏡を必要とする。放物面反射鏡の代わりに回転円鏡を使い、その二つの焦点の一つにアークをおけば他の焦点に純粋な熱源が得られる。口径 53 cm, 主焦点距離 100 cm 程度の小形のものではあるが、完備した装置としてすでにアメリカでは商品化されている。

これに反して大形太陽炉の状況は少しく趣が違ふ。先に述べたように、焦平面における  $d$  円を大きくするには焦点距離を大きくしなければならない。これとともに放射密度を大きくするには  $n = D^2/f$  を大きくした方がよいから、 $D$  を大きくする必要がある、いさか矛盾になる。一方、炉の構造のほうからいると、大形化は炉の構造度を低下することになる。従つて、大形化は炉の構造をよく保つておくことが必要である。

しかし 1,000 kW という大形炉で熱源にアークを使うことはまず問題にならないので、このような場合には文字どおり太陽炉とする。現在大形太陽炉として名の知られているのは、前述のフランスの国立研究所にある既設の 75 kW と目下建設中の 1,000 kW の二つの炉、アメリカでは既設のものにマサチューセッツ州 Natick にある U.S. Army, Quartermaster Research



上は配置図

下は組立式回転放物面反射鏡

第 5 図 Montlouis (フランス) の  
1,000 kW 太陽炉

and Engineering Command の 70 kW 太陽炉、計画中のものにニューメキシコ州 Holloman Air Force Base の 850 kW のものがある。第 5 図はフランスで建設中の 1,000 kW 太陽炉の配置図である。形式はヘリオスタット式であるが、互に独立でおのおのに追尾装置をつけた  $6 \times 7 \text{ m}$  の小形ヘリオスタットが 62 枚階段状に配置されている。主鏡は高さ 40 m, 幅 54 m で下部を切断して前かがみの姿勢になっている。焦点距離は 18 m で  $n$  は 3 に近い。邦貨にして 4 億円を要するというが、完成にはちと数年を要するであろう。耐熱材料を量的に処理することを目的に使用するものようである。第 6 図は Natick の既設の太陽炉である。緯度は函館に相当するところであるが、設置



第 6 図 U.S. Army, Q.R.E.C. の 70 kW 太陽炉

点は湖水に突き出た半島にあって環境が実によく、都  
 じんの中で運転しなければならぬわれわれの目から  
 みると理想的であるように感ずる。ヘリオスタットの  
 大きさは  $40 \times 36$  ft で  $2 \times 2$  ft の裏面銀の反射鏡 355  
 枚からなる。主鏡は球面鏡であって中央部の  $30 \times 30$   
 ft を使い、 $2 \times 2$  ft のアルミニウムめっきの表面鏡 180  
 枚からなっている。球面鏡であるから収差を伴ない結  
 像は充分でないが、焦平面における直径 15 cm の太  
 陽像の中の最高点では  $500 \text{ W/cm}^2$  (集中度 5,000) 程  
 度の放射密度が得られる。したがって完全黒体を仮定  
 してもその点での到達温度は  $2,800^\circ\text{C}$  程度である。  
 主鏡の前にある構築物は入射光量を調節するシャッタ  
 機構および測定室である。測定室が光路の中にあつて  
 加熱をうけるので、下部の冷房装置で部屋の内部を冷  
 すようになっている。この太陽炉のねらいは、広い面  
 積に分布する高密度の放射束を作ることにより、これ  
 によって軍用の機材を実物に近い規模で試験するこ  
 とを目的にしているように思う。

#### 4. む す び

以上、少なくとも現在試行の段階にきている太陽エ

ネルギーの利用方途および特徴を展望したわけであ  
 る。その中には補助的なエネルギー源としてならばす  
 ぐにも実用になるものがあり、なお数年、十数年の研  
 究を必要とすると思われるものがある。いずれにして  
 もいましばらくは実験を重ねて、効率その他の基礎的  
 数値を蓄積する段階であると思う。そういう意味では  
 本文中に述べた見通しらしいことに対しては大方のご  
 寛容をいのる次第である。

なお本稿を草するにあたって多くの資料を参照した  
 が、いちいちはそれを表示しなかった。ただ最後に太  
 陽エネルギーの利用に関する国際的な協会 Association  
 for Applied Solar Energy, Arizona State University,  
 Tempe, Arizona, U.S.A. が 1955 年に発足してい  
 ること、そこから季刊の機関誌 Solar Energy: The  
 Journal of Solar Energy Science and Engineering が  
 発行されていること、昨年同協会から Applied Solar  
 Energy Research: A Directory of World Activities  
 and Bibliography of Significant Literature という文  
 献表題集が発行されていることを付記したい。後者  
 には新旧約 3,000 に近い文献名が、あるものには簡単  
 な内容紹介までつけて収められている。

UDC 621.315.624.027.7/8: 621.315.17

## 特別高圧がいし装置推奨案(要旨)

報 告

35-14

## 送 電 専 門 委 員 会†

## 1. 推奨案作成についての経緯

現在、架線金具に関する規格としては日本電気協会制定の JEA-331(1941) と日本工業規格 JIS-C 3701(1953) があるが、JIS は可鍛鋳鉄製クランプに関するもののみあり、JEA についても充分なものでなく、特に近年各所で建設される超高圧送電線のような太い導体に適用できるものは制定されていない。

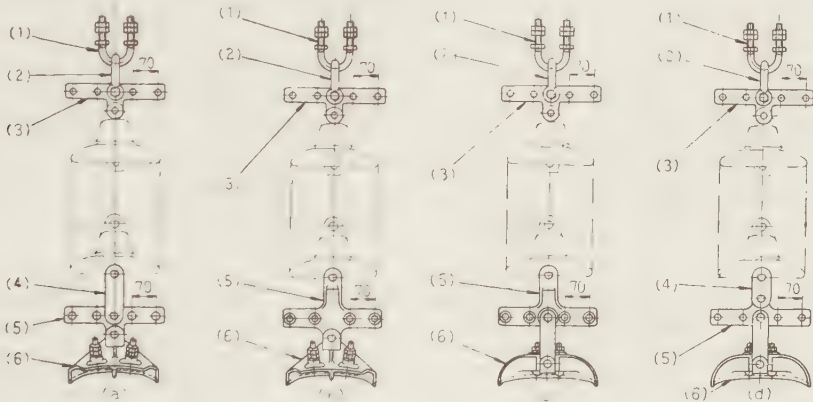
また、がいし装置の設計に際しては、従来の慣習、経過地の気象条件、線路の重要度および技術的進展に伴う配慮など、設計者の意図により金具の選定ならびに設計が異なるため、同一電圧、同一電線の送電線

についても種々の相違が認められる状況である。

最近に至っては活線作業、コロナしゃへい、耐雷設計、耐アーク性を考慮した設計が行われるので、この傾向は特に著しくなっている。

一方、互換性および経済性の問題から金具種類の単純化を望み、各社から推奨がいし装置作成が要望されており、また、特別高圧架線金具標準特別委員会への技術資料提出の要もあるので、電気学会送電専門委員会にて特別高圧がいし装置推奨案を作成したのである。

なお特別高圧がいし装置推奨案を決定するにあたっては、各電力会社、日本国有鉄道、がいし金具メーカーなどに資料の提出を求め、当委員会において審議が行



	(1) U ボルト	(2) U クレビス	(3) 招弧装置 取付け金具	(4) 平行クレビス	(5) 招弧装置 取付け金具	(6) 懸垂クランプ
(a) 図	U-560 (U-565・U-575)	UC-500	X-800 (X-801)	CP-801	X-800 (X-801)	硬 銅 100~150° 銅心アルミ 160°
	U-680 (U-665)	UC-803	X-800 (X-801)	CP-801	X-800 (X-801)	硬 銅 150~240° 銅心アルミ 200~330°
(b) 図	U-560 (U-565・U-575)	UC-500	X-800 (X-801)	—	CX-800 (CX-801)	硬 銅 100~150° 銅心アルミ 160°
	U-680 (U-665)	UC-803	X-800 (X-801)	—	CX-800 (CX-801)	硬 銅 100~150° 銅心アルミ 160°
(c) 図	U-560 (U-565・U-575)	UR-500	X-800 (X-801)	—	CXF-800 (CXF-801)	銅心アルミ 160°
	U-680 (U-665)	UC-803	X-800 (X-801)	—	CXF-800 (CXF-801)	銅心アルミ 200~330°
(d) 図	U-560 (U-565・U-575)	UC-500	X-800 (X-801)	CP-800	X-800 (X-801)	銅心アルミ 160°
	U-680 (U-665)	UC-803	X-800 (X-801)	CP-800	X-800 (X-801)	銅心アルミ 200~330°

注：懸垂クランプの品番は、使用電線により選定する。

第 1 図 1 連懸垂装置 (招弧装置あり)

† 委員長 林 潔(電源開発)、幹事 高倉佳輝(電源開発)、委員 坪谷素一(北海道電力)、竹内昇司(東北電力)、村本忠夫(東京電力)、小林一允(中部電力)、長坂外次(北陸電力)、神谷 進(関西電力)、井清哲夫(中国電力)、中川敏春(四国電力)、伊藤光成(九州電力)、和田文夫(公益局)、三田 昇(電試)、山村 豊(阪大)、斎藤健一(東工大)、朽木雄蔵(電力中研)、阪本 勇(住友電工)、桐ヶ谷弘吉(古河電工)、鈴木照彦(国鉄)

本稿の全文は「電気学会技術報告 第 40 号」に掲載されている。



われ、昭和 33 年 3 月に決定を見たものである。

2. 作成上の要点

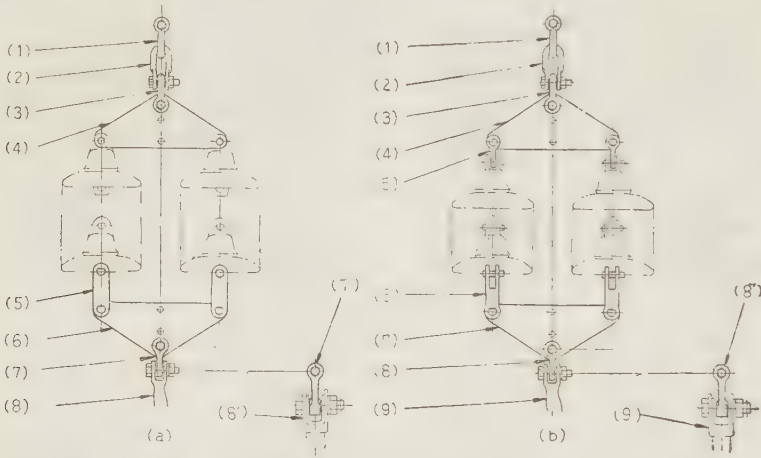
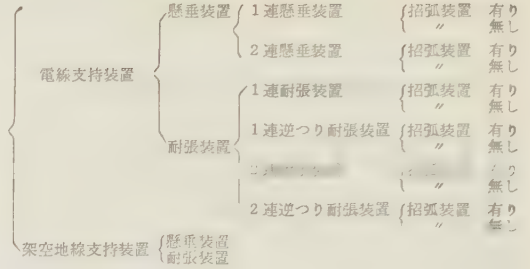
(a) 金具の強度は、クランプ 類については JIS-C 3701(1953) の基準により、その他の連結金具はクランプの試験荷重に協調させること。また金具の品番も JIS および JEA にしたがうことを原則とした。

(b) がいし装置の分類は、使用電線の太さならびに招弧装置の有無により分類した。

(c) 各社の使用実績を尊重し、実績の多い装置を骨子として、活線作業の点も加味して作成した。また超高圧架空送電線路については、まだ実績も少なく今

後の問題点も多いので、代表的送電線の例を参考として巻尾に付け加えた。

3. がいし装置の種類



(a) 図	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	備考
	Uクレビス	Uクレビス	直角クレビスリンク	招弧装置取付けヨーク	平レビス	招弧装置取付けヨーク	直角クレビスリンク	招弧装置	直角クレビスリンク	
	UC-500	UC-500	CLR-500	YT-533		CP-801 (2個)	YT-533	CLR-500	硬銅 22~75° 銅心 アルミ 90°	70 kV 以下
	UC-803	UC-803	CLR-800	YT-840 (YT-833)		CP-801 (2個)	YT-840 (YT-833)	CLR-800	硬銅 100~150° 銅心 アルミ 120~160°	110 kV 以上 (括弧内のヨークを使用するときは 70 kV 以下)
	UC-1202	UC-1202	CLR-11200	YT-1240 (YT-1233)		CP-801 (2個)	YT-1240 (YT-1233)	CLR-11200	硬銅 180~240° 銅心 アルミ 200~330°	
備考 (2) を (7) に、(8) を (3) に、または (3) を (6) に、(7') を (4) に連結すれば逆つりとなる。										
(b) 図	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	備考
	Uクレビス	Uクレビス	直角クレビスリンク	招弧装置取付けヨーク	直角クレビスリンク	直角クレビス	招弧装置取付けヨーク	直角クレビスリンク	耐張クランプ	
	UC-500	UC-500	CLR-500	YT-533	CLR-800 (2個)	CR-801 (2個)	YT-533	CLR-500	硬銅 22~75° 銅心 アルミ 90°	70 kV 以下
	UC-803	UC-803	CLR-800	YT-840 (YT-833)	CLR-800 (2個)	CR-801 (2個)	YT-840 (YT-833)	CLR-800	硬銅 100~150° 銅心 アルミ 120~160°	110 kV 以上 (括弧内のヨークを使用するときは 70 kV 以下)
	UC-1202	UC-1202	CLR-11200	YT-1240 (YT-1233)	CLR-800 (2個)	CR-801 (2個)	YT-1240 (YT-1233)	CLR-11200	硬銅 180~240° 銅心 アルミ 200~330°	
備考 (2) を (8) に、(9) を (3) に、または (3) を (7) に、(8') を (4) に連結すれば逆つりとなる。										

注: (1) 耐張クランプの品番は、使用電線により選定する。(2) 活線作業に便利ように、この図と勝手違いの TN 形クランプを使用するときは TN-12530 LAL のように品番の末尾に“L”を付け、アルミライナ張りを必要とするときは、さらにその次に AL を付けて品番を指定する。(3) 圧縮形耐張クランプを使用するときは、(a) 図の (7') または (b) 図の (8') をこれに適合するように選定する。

第 2 図 2 連耐張装置（招弧装置あり）

## 学 界 時 報

- |                |                |          |
|----------------|----------------|----------|
| 1. 教育・研究       | 2. 電気物理および回路理論 | 3. 電気測定  |
| 4. 電子装置        | 5. 電子回路        | 6. 電気機器  |
| 7. 電力          | 8. 照明          | 9. 電気鉄道  |
| 10. 電気通信       | 11. 電気材料       | 12. 電力応用 |
| 13. 自動制御および計算機 | 14. 原子力        | 15. 雑    |

1・522. アメリカ国際電話電信  
会社標準器室

International Telephone and Telegraph  
Corporation Standards Laboratory. [Elect.  
Commun., Vol. 36, No. 2, 1960, p. 78~103]

国際電話電信会社標準器室は、ニュージャージー州、クリフトンの同社連邦部製造工場の室内に設けられた室で、機械室と電気室とからなり、マスタゲージ、電気機器などの試験、検定を行う。標準器室の構造は振動、衝撃、周囲条件から完全に独立し、壁と天井は鋼鉄製で、音、熱の絶縁性をもつ特殊の窓を設け、機械室は、コンクリートの内壁を施した地下孔におさめた振動吸収材で浮かせた 12 in 厚の 60 t の鉄筋コンクリート板を床とし、縁にたわみ材をめぐらして床面を壁や工場の床から分離している。特殊フィルタを用いた空気調節により、機械室は 20°C、電気室は 23°C に保

ち、気圧を常に正に保って漏れを外向にしてほこりの侵入を防ぎ、入室に際してはまず小部屋を通して衣服の除じんを行う。

電気室の器材配置は結線、しゃへい、劣化防止に留意し、電圧標準は国立標準局で検定をうけた不飽和標準電池で 0.01 % の精度を有し、電圧、電流の測定や電力測定器の検定にはリーズ・アンド・ノースラップ K-3 電位差計を用い、抵抗測定にはリーズ・アンド・ノースラップ 4230 形アンソニー・パターン・ホイートストンブリッジを用いる。リアクタンス標準は国立標準局の検定をうけたジェネラルラジオ 1482 形インダクタンスとヤーレ標準コンデンサからなり、リーズ・アンド・ノースラップキャパシタンス、コンダクタンスブリッジを使用する。周波数基本標準は国立標準局から送るものを取り、実際の測定にはローデ・アンド・シュバルツ十進周波数—総合システム XZA を放送周波数に対してセットして、30 c/s~600 Mc が測定

第 1 表 おもな測定能力

	測 定	範 囲	精 度
電 気 測 定	抵抗	1 Ω~11 MΩ	±0.01 %
	キャパシタンス	1 pF~1.1 μF (0.01~10 % pf, 0~300 μC, 50 kc)	±0.1 % または ±1 pF
	インダクタンス	0.1 μH~10 H (1 kc)	±0.3 % または ±0.1 μH
	周波数	30 c/s~600 Mc	10 <sup>-7</sup>
	直流電圧	10 μV~750 V	±0.02 %
	交流電圧	10 mV~750 V (逆直流法 (電流計と熱電対)) 0.3~1,500 V (直流~25 kc)	±0.02 % ±0.05 %
	直流電流	10 μA~50 A	±0.05 %
機 械 測 定	交流電流	10 μA~50 A (逆直流法)	±0.05 %
	電力	0.002~20 A (直流~25 kc) ~300 W (逆直流法)	±0.05 % ±0.05 %
	長さ	ゲージブロック ~5 in (125 mm) 5 in (125 mm) 以上	±0.00002 in (0.000051 mm) ±0.00001~0.00002 in (0.00025~0.00051 mm) [長さによる]
	平面度	ゲージブロック	±0.00002 in (0.000051 mm) 以上
	角度	*大きい表面または角変位 全円 (0~360°) 微小角~10'	±0.000005 in (0.00013 mm) または 0.1 s ±0.1 s 以上 ±0.2 s
	表面仕上	小形反射物または銀レプリカ	0.00001~0.00002 in (0.00025~0.00051 mm)
	表面あらさ	ピーク間 0.002 in (0.05 mm) 以下 クヌープ、ピッカース全域 ロックウェル全域	±0.00001~0.00001 in (0.00025~0.00025 mm) [粗さによる] Tukon ±0.0002~±0.0009 mm 圧こん長 ロックウェル ±0.5~±1.5 スケールナンバ
定	ねじリード	総ねじ ~80/in (30/cm)	±0.00002 in (0.00051 mm)
	ねじピッチ径	~13 in (3.3 cm)	±0.00001~±0.00002 in (0.00025~0.00051 mm) [径による]
	水平度	*表面 6.5×3 in (165×75 mm) 以上	傾斜角~±1 s (弧)

(注) \*: 携帯機器

でき、おのずから 30 c/s~30 Mc を発振して、高周波を用いて 600 Mc まで延長できる。

おもな測定精度は第 1 表のとおりである。

(池田, 西谷健作)

### 1-523. アメリカ国際電話電信会社 標準器室の運営

Samuel Silverman: ITT Standards Laboratory-Operation. [Elect. Commun., Vol. 36, No. 2, 1960 p. 104~111]

国際電話電信会社連邦部の標準器室は、国立標準局で検定をうけた照合標準器を保管し、それで校正した実用標準器を用いて提出をうけた計測器を校正する。

マスタ、照合標準器その他の精密ゲージの標準化と検定、精度が 0.75% 以上の指示形電流計、電圧計、インピーダンス十進箱、ブリッジ、Q メータ、計数形計器、実用標準器の検定を標準器室が行うが、一般のゲージの校正は製造技術班が、また、製造計測器、普通計測器、倍率器、真空管電圧計、特殊試験器具の校正は試験保管班が行う。

校正、検定、寸法測定は、それぞれに作業要求書を作成し、計測器の名称、型番、部門別、予定作業を記入し、作業日記にも同じく記入して、それぞれに M (機械)、E (電気) にはじまる番号を付けるが、これは検査および報告番号としても使用し、作業要求書と作業票にも記載する。作業要求書は校正、測定が終了するまでとどめ、必要修理と調整、校正に使用の実用標準器を記す。標準器室で検定をうけたゲージや計測器については、精度の仕様と校正計画表の他に、受付および校正期日、検定番号、再校正期日を記入した校正管理カードを保管し、再校正期日に整理する。修理も記入し、詳細は修理票を参照する。計器可動部および分路器などの付属物の修理は、交換し、交換後、修理票に記入し、修理完了後、その修理費を修理票に記入し、修理費を記入する。

被検定計測器が仕様に適合すれば検定証を発行し、検定番号、校正期日を記した検定票を計器にはり、部品の測定、多機能計器の限定校正には測定報告を出す。

電気照合標準器の校正については、標準電池は少なくとも年に 1 度、毎回 2 個以上を国立標準局に送って検定をうけ、これを新しく照合標準として常に 2 個以上照合標準器を備え、古くなった照合標準器は実用標準器に下げ、在来の実用標準器を国立標準局に検定のため送り出す。その他、抵抗 (0.001~10,000  $\Omega$  十進式)、インダクタンス (10  $\mu$ H~10 H 十進式)、キャパシタンス (10 pF~1,000 pF 十進式)、調節可能キャパシタ (6~20 pF, セット決定 0.01 pF 以内可能) 照合標準の国立標準局の検定周期は 18 个月以内で、これによる実用標準器の校正周期は 12 个月以内である。

さらに、特に精度や緊急を要する測定、社内の測定結果の裁定、製造、検査に適する計測器形式の勧告、将来の校正の準備、その他社外の校正、検定も行うことができる。

(池田, 西谷健作)

### 2-524. CP4 でエッチした Ge 表面 における First Order Structure の起点

G. Bonfiglioli, A. Ferro & A. Mojoni: Origin of the "First-Order Structure" of CP 4-Etched Ge Surfaces. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 4, April, 1960, p. 684~686]

CP4 で Ge の表面をエッチするとき、エッチング時間の経過につれて異なる表面状況を呈する。この論文は第 1 図にみられるような径 10  $\mu$  程度の網目模様の一見多結晶に似た 1st. order structure といわれる表面状況の形成過程を顕微鏡観察により調べたものである。従来このような表面の腐食状況についてはたびたび報告されているが、満足のゆく説明は与えられていない。

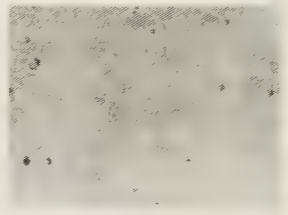


図 1

この報告の主眼点

は、このような 1st. order structure の網目構造は転位ピットから発達したものであることを説明する。

実験は真性の Ge を (111) に切り (精製、加工工面の影響を除去するため 10 p.HF 38%, 1 p.HNO<sub>3</sub> 65% の液で処理したのち、CP4 でエッチして表面を調べる。一つの試料に対しエッチングの段階は 1, 6, 16, 24, 36, 60 の各分にわけられ、各段階のエッチごとに新たな CP4 を用意し室温に保たれる。エッチされる試料は表面の特定区間を決めておき、その区域内で特定のエッチピットを指定して、上述の各段階に対応する時間に対するこれらのピットの変化を連続的に捉えている。それによるとピットは消滅したり、新たに発生したりするが、長時間のエッチングでは表面の不活性化のため、新たに出現するピットはほとんどない。表面の不活性化の時間を調べるためには、エッチングの時間とエッチで除去される重さの関係、および減少速度を調べる。その結果は重さの減少の度合は時間とともに小になる。

エッチピットは最初うず巻状のへこんだピットであるが、エッチングの進行とともにうず巻状が消失してゆく。この消失点が転位の終結点を示すものと考えられる。1st. order structure の網目構造はこのピットが発端になっていることは上記の実験から明らかになる。この網目模様の平均寸法はエッチピットの間隔に非常に近い。



なお、このような 1st. order structure は (111) に非常に近いときのみ現われ、Br の多い CP4 では 2nd., 3rd. order structure が現われやすい。これについては Noggle と Stiegler<sup>(1)</sup> が指摘している。

(北村, 片岡行雄)

#### 文 献

- (1) T. S. Noggle & J. O. Stiegler: J. appl. Phys. **30**, 1279 (1959);

### 2・525. Al を含む Si 結晶中の沈殿

R. Bullough, R. C. Newman, J. Wakefield & J. B. Willis: Precipitation in Silicon Crystals Containing Aluminum. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 4, April, 1960, p. 707~714]

親和力の強い 2 種以上の不純物を含む結晶を熱処理すると結晶内に不純物の沈殿現象が生ずる。最初不純物は格子欠陥近傍に移動して、濃度の高くなった部分に核をつくり成長してゆく。この成長核は易動(drift)と拡散で支配される。この論文では O と C を含む Si 単結晶における Al の沈殿現象を述べており、Al と O の間には強い親和力をもつことが知られている。

実験は 700~1,350°C の範囲で Al を含む Si を石英に封じ 10<sup>-5</sup>mmHg の真空中で行われる。使用する Si は引き上げの際 Al を入れ、でし上がったインゴットの頭が 10<sup>16</sup>~10<sup>18</sup> atom/cm<sup>3</sup> 程度の濃度をもつもので、大部分の試料には Al に対し 0.3~1 の割合で P を入れる。また酸素の量は 9.1μ 吸収から 10<sup>18</sup> 程度と推定された。試料の考察は赤外透過顕微鏡で行うが、表面構造の詳細についてはカーボンレプリカをとり電子顕微鏡で調べる。

Al の沈殿は転位や結晶粒界のまわりに生ずるが、まず 1,250°C で熱処理した場合について転位線にそう沈殿を調べる。転位線は半径  $r_0$  のシリンダでおおわれており、 $r_0$  の値は正確に決定するのは困難であるが、だいたい 10~60 Å である。沈殿粒子はこの領域のある位置で核を作り転位への不純物の拡散により発達をとげる。Al 原子が単位時間に  $r=r_0$  面を通過する

数は Al の初期濃度と  $r_0$  における濃度で数式的に表わされる。第 1 図はこのようにして求めた Al の濃度分布を示す曲線であるが、この P-N 接合の関係は熱処理後の試料を 50/50 HNO<sub>3</sub>: HF でエッチして実測することができる。その結果転位中心に対称的な拡散を仮定して理論を導いたことの正しいことがわかる。

いろいろな温度での処理を比較するため、拡散距離が一定になるよう処理時間を考慮しなければならない。結果としては 1,300°C 以上では沈殿はみられない。1,200~1,100°C では転位線にそう不純物原子は 1,250°C の場合の 4 倍くらい大である。1,000°C では沈殿は著しく減少する。また 700~800°C では転位の上にごくわずかに認められるにすぎない。

なお計算値と実験値では差異が生ずるが、これは O の沈殿作用を伴う化学反応の影響によると考えられる。

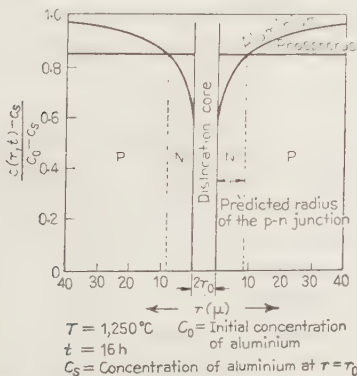
(北村, 片岡行雄)

### 2・526. 原子的清浄な金属表面

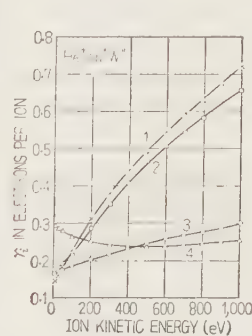
H. D. Hagstrum & C. D'Amico: Production and Demonstration of Atomically Clean Metal Surfaces. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 4, April, 1960, p. 715~723]

表面現象の分野では、真空中で原子的に清浄な固体表面の生成と、その証明にはかなりの注意がはらわれている。原子的に清浄な表面を作る方法は加熱、イオン衝撃およびへきかいなどがあるが、著者らは表面の清浄方法としてイオン衝撃を取り上げ、タングステンについて調べている。

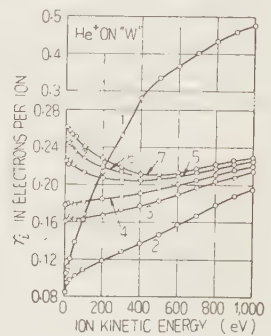
タングステンの清浄表面については多くの報告があり、加熱により清浄表面が得られることについてはきわめて多くの証明がある。2,200°K 以上に熱して充分脱ガスしたタングステン表面は原子的に清浄であるという。この報告は著者らが、加熱によるタングステンの清浄表面を基準として、イオン衝撃によりスパッタされた表面をイオン衝撃による Auger 形二次電子放出を通して比較考察したものである。



第 1 図



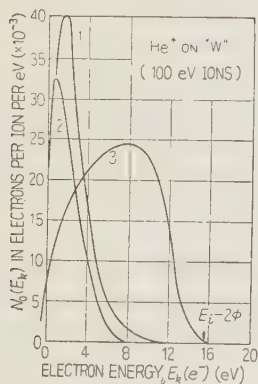
第 1 図 加熱による  
表面状態の変化



第 2 図 イオン衝撃に  
よる表面の清浄

加熱による表面状態の変化を二次電子利得  $\gamma_i$  とイオン入射エネルギーの関係から示すと第1図のようになる。曲線1, 2, 3, 4, はそれぞれターゲットを焼く前,  $800^\circ\text{K}$ ,  $1,330^\circ\text{K}$  に熱したのち, さらに  $1,500^\circ\text{K}$  で脱ガス後  $2,200^\circ\text{K}$  でフラッシュしたものである。 $2,200^\circ\text{K}$  以上に熱しても  $\gamma_i$  はこれ以上変化しない。曲線7はひどくよごれた表面で, 曲線4は中がへこんでいて原子的に清浄な表面であることは他の結果に一致する。

イオン衝撃による表面清浄を調べると, 第2図のようによごれた表面の曲線1から清浄表面曲線7のごとくで, ターゲットを数日  $570^\circ\text{K}$  に熱しただけ(1)のよごれた状態からスパッタの条件を次第に変えて清浄にした状態まで(6), さらにスパッタ後  $1,500^\circ\text{K}$  と  $2,000^\circ\text{K}$  で熱し,  $2,350^\circ\text{K}$  でフラッシュした状態(7)を示した。この曲線7は原子的に清浄状態を示しているが, 第1図の曲線4より  $\gamma_i$  が低くなっているのは増幅器の増幅補正による。また  $100\text{ eV}$  イオンエネルギーで曲線7のすぐ下の二重丸点はスパッタ後直ぐに  $\gamma_i$  を測定したものである。 $\gamma_i$  測定までの間に



第3図

ガス放出が含まれて実験が行われること, またスパッタリングガス中に吸着しうる不純物の存在などで行われたことは, 高い吸着確率を持つタングステンのような反応しやすい金属については重要な意味があり, 清浄の唯一の方法としてのむずかしさを示した。

スパッタ後のアニーリングは Auger 特性にほとんど効果をおよぼさない。このことは Auger 過程では清浄表面の表面原子のかく乱は特に感じない。

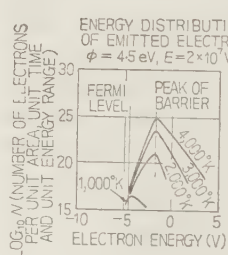
初めにターゲットを実験装置に入れたときのタングステン表面は非常によごれている。第1図～第3図でみるように  $\gamma_i$  と  $N_0(E_K)$  (放射された二次電子のエネルギー分布) 特性は清浄表面にくらべて明らかに異なり, Auger 機構の理論から説明できない。 $\gamma_i$  は清浄

表面ではイオンエネルギーの増加で下がるが, よごれた表面は異なる。同様に  $N_0(E_K)$  分布もよごれた表面は狭くなり, 清浄表面は  $E_i - 2\phi$  (イオン化エネルギーから2倍の仕事関数を引く) の高いエネルギー電子をもたらす。これは表面原子の電子エネルギー分布の差に相当する。(鳩山, 千崎清司)

## 2-527. アーク陰極から放出される電子のエネルギー分布と冷却効果

T. H. Lee: Energy Distribution and Cooling Effect of Electrons Emitted from an Arc Cathode. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 5, May, 1960, p. 924~927]

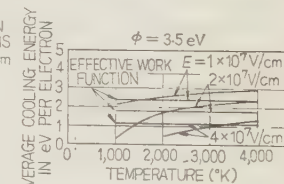
アーク放電機構を解析するためには, 陰極におけるエネルギー平衡の関係を考察しなければならないが, その際電子放出に基づく冷却効果はきわめて重要である。Engel らはイオンが陰極降下部分で取得した全エネルギーを陰極に与え, これが放出される電子の冷却効果と平衡するという仮定のもとに陰極降下部分のイオン電流と電子電流との比の限界値を求めている。最近 Murphy らはアーク放電における電子放出機構を次の三つに分類した。すなわち, Schottky の式が用いられる高温範囲, Fowler-Nordheim の式が用いられる高電界範囲およびその中間範囲で高温と高電界の共存する際の  $T-F$  放出である。熱電子放出の場合は陰極の実効の仕事関数に等しい冷却効果があるが, 高電界放出の際は放出による冷却はない。したがって, 中間の  $T-F$  放出をするアークに対しては一層の考察が必要である。本稿ではその冷却効果を一般的見地から考察した。すなわち, 自由電子は Fermi-Dirac 分布をもち, 表面においては古典的な映像による Barrier



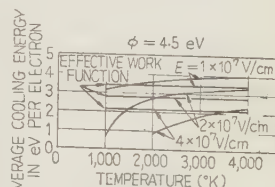
第1図

をもつというモデルのもとに厳密な計算を行った。まず仕事関数と電界強度を与えたときの Potential barrier に

直角方向の放出電子のエネルギー分布を求め, これを第1図に示す。その計算の上の技巧についても詳細に述べてある。次に冷却効果については数値的に求められ, 温度, 電界強度お



第2図



第3図

よび陰極の仕事関数の関数として与えられた。これを第2図および第3図に示す。その結論をまとめると次のようになる。

(1) 放出電子あたりの平均冷却効果として、実効の仕事関数が用いられるのは熱電子放出の範囲だけに限られる。(2) 電界強度が充分高い場合は陰極が 2,000°K 以上の高温のときでも実効仕事関数を冷却効果とよくその誤差は大きい。(3) ここに求められた第2図、第3図はアーク放電における熱平衡の研究に使用される。

(池沢, 小林春洋)

## 2-528. 磁気および磁気材料の デトロイト会議

[J. appl. Phys., Supplement, Vol. 31, No. 5, May, 1960]

この会議は 1955 年以来毎年アメリカで開催され、デトロイト会議は 5 回目にあたる。最初 2 回の予稿集は Amer. Inst. Elect. Engrs より出版されたが、3 回目からは J. appl. Phys. に掲載されるようになった。デトロイト会議は Amer. Inst. Elect. Engrs が主催し、American Phys. Soc., Inst. Radio Engrs, Metallurgical Soc. of A.I.M.E., Office of Naval Research が協賛という形をとっている。

会議の目的が磁気関係の基礎と応用研究の緊密化を図ることにあるため、発表論文も磁気関係のあらゆる分野にわたっている。これらは次の 14 の部門に分けられ、全 169 篇が収められている。

- (1) 磁気一般理論 (5 篇)
- (2) ガーネット (11 篇) ガーネットの磁気共鳴関係、単結晶の製作など。
- (3) 永久磁石 (11 篇) 粉末磁石関係が多い、目新しいものに Mn-Al 系粉末磁石、アルニコ 5 の高温加工がある。
- (4) スピン波と静磁状態 (10 篇)
- (5) 計算機とスイッチング(概説 1 篇、薄膜 2 篇、フェライト 8 篇) フェライト薄膜の論理および記憶素子への応用が新しい。
- (6) 磁気異方性 (13 篇) フェライトや金属の結晶磁気異方性と圧延磁気異方性、金属の合金や化合物と岩石磁気における交換力異方性など。
- (7) 実験技術と装置 (16 篇) 直流自記磁束計、自記トルクメータなど。
- (8) 磁気共鳴 (9 篇) 共鳴曲線の幅に関するもの、高圧下の共鳴など。
- (9) フェライトおよび酸化物 (13 篇) 磁界中冷却効果、材料の磁気的性質など、かわったものに強磁性ビエゾ化合物、強誘電-強磁性物質がある。
- (10) 磁性薄膜 (異方性 4 篇、磁化逆転 3 篇、磁区と磁壁 5 篇、その他 3 篇) 傾斜蒸着による異方性発生の起源が新しい問題となってきた。

- (11) 金属および合金 (10 篇) おもしろいものに強磁性-超導電性物質がある。
  - (12) 磁性塩類 (9 篇)
  - (13) 磁性化合物と中性子回折 (13 篇) スピン配列構造に関するもの。
  - (14) フェリ磁気共鳴およびその他 (12 篇)
- (山 本)

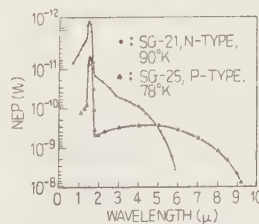
## 2-529. Ge 中の Au の赤外線 に対する性質

L. Johnson & H. Levinstein: Infrared Properties of Gold in Germanium. [Phys. Rev., Vol. 117, No. 5, March 1, 1960, p. 1191~1203]

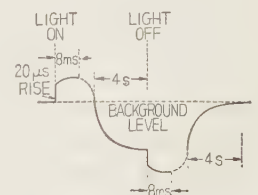
Ge 中の Au による赤外線の吸収係数、光伝導度および Lifetime を測定して、三つのエネルギー準位を持つ Au の基本的性質を総合的に報告している。

光伝導度は、78°K で第 1 図に示すようなスペクトルを持ちこれは三つの領域に分けられる。(i) 波長 1.4 $\mu$  で真性領域を示す。ゆえに真性スペクトルより不純物スペクトルを引き去ると、真性吸収係数  $3 \times 10^{-3} \text{cm}^{-1}$  が得られ、また不純物スペクトルを外そうして、不純物吸収係数  $8 \times 10^{-3} \text{cm}^{-1}$  が得られる。(ii) 波長 0.5~1.4 $\mu$  の真性領域では N 形のほうが P 形より波長に対して敏感である。これは吸収された光子により作られた Electron-hole 対が内部に拡散する際、N 形の Bulk Lifetime は P 形より長く、したがって拡散距離も長いから、このような現象が見られる。(iii) N 形では 1.8~2.8 $\mu$  の範囲でスペクトルの重ね合わせが見られる。これは充満帯より 0.20 eV の Au 準位へ、および他の二つの Au の準位から伝導帯への電子の光電離により生じた現象である。

次に Lifetime および捕獲断面積は P 形および N 形でそれぞれ異なっている。まず P 形では、(i) 波長 2 $\mu$  以上の不純物領域、(ii) 1.7 $\mu$  付近の真性領域、(iii) 1.5 $\mu$  以下の真性領域に分けられる。(i) の場合 Lifetime は  $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{s}$  で、充満帯より 0.15 eV の Au Accetor level への電子の励起が見られる。Hole に対する  $\text{Au}^-$  の捕獲断面積は  $10^{-13} \text{cm}^2$  で、異常に大きい。Coulomb potential および Phonon energy を考慮すれば説明できる。(ii) では  $\text{Au}^-$  原子による Hole



第 1 図



第 2 図



の捕獲、および(中性)  $Au^0$  原子による電子の捕獲が見られる。Hole lifetime は  $0.02\mu s$  また  $Au^0$  原子の電子捕獲断面積は  $6\times 10^{-14}cm^2$  である。(iii)は速い成分 (Lifetime  $4\mu s$  以下) と遅い成分 (Lifetime  $400\sim 1,200\mu s$ ) の二つからなっている。

次にN形 Ge の Lifetime の波長依存性はP形より複雑で、Quench された現象が見られる。(第2図 この現象は波長  $2.4\mu$  より始り、 $1.85\mu$  で最大となり、真性領域にはいと急激に減少する。Lifetime は  $2.4\mu$  以上では  $10\sim 1,000\mu s$ 、 $2.4\mu$  以下では約  $10ms$  である。また Lifetime の温度依存性は  $100^\circ K$  以上では大きく変化し、 $100^\circ K$  以下ではゆっくり変化する。これは捕獲断面積が温度により影響を受けるためである。

その他、P形N形の光信号中の雑音は、通常の  $1/f$  雑音以外に、特性時間を持つ励起-再結合雑音が見られる。また厚い試料の場合には、内部の反射屈折のため、測定精度が悪くなる。これをふせぐため、光の入射角を法線方向よりわずかにそらせたほうがよいことなどを報告している。(北村、小田 弘司)

### 2-530. Si の Nernst および Ettingshausen 効果

H. Mette, W.W. Gärtner & C. Loscoe:  
Nernst and Ettingshausen Effects in Silicon  
between  $300^\circ K$  and  $800^\circ K$ . [Phys. Rev., Vol.  
117, No.6, March 15, 1960, p. 1491~1493]

高温での Nernst および Ettingshausen 効果は、Ge については著者らがすでに発表<sup>(1)</sup>している。ここでは Si について前論文と同様の理論的検討および実験を  $300\sim 800^\circ K$  で行い、さらに熱伝導度を求めている。

Nernst 係数  $B$  は

$$B=[qD(\mu_n^H+\mu_p^H)/\sigma(n_0+p_0)]d(n_i^2)/dT \dots\dots\dots (1)$$

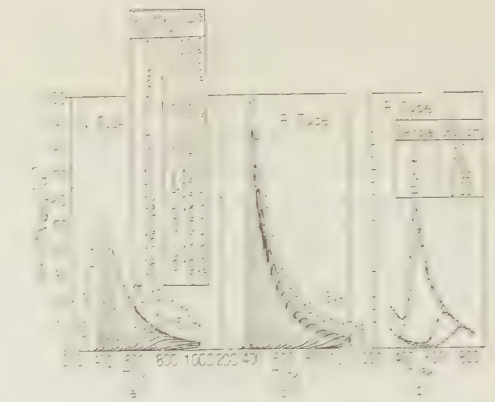
で与えられる。ここで  $\mu_n^H$ ,  $\mu_p^H$  はそれぞれ電子および Hole のホール移動度である。この式に以下の数値を代入すると、温度の関数として第1図 (a), (b) の理論曲線が得られる。

$$\begin{aligned} n_i^2 &= 1.5\times 10^{33}\times T^3\times \exp(-14,028/T) \\ \mu_n^D &= 2.1\pm 0.2\times 10^9\times T^{-2.5\pm 0.1} (cm^2V^{-1}s^{-1}) \\ \mu_n^H &= 1.52\mu_n^D \\ \mu_p^D &= (2.3\pm 0.1)\times 10^9\times T^{-2.7\pm 0.1} (cm^2V^{-1}s^{-1}) \\ \mu_p^H &= 0.885\mu_p^D \end{aligned}$$

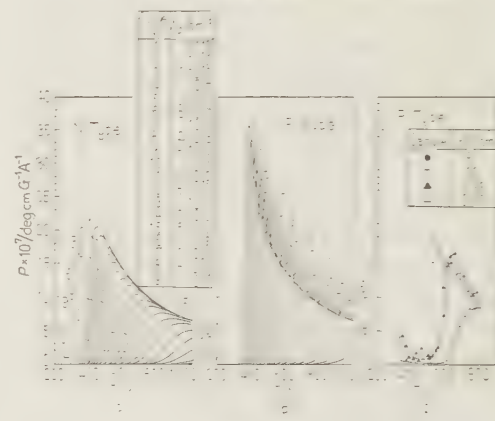
測定はP-Si について  $9,000 G$  の磁界で行い、その結果は高温では理論とよい一致を示している。

次に Ettingshausen 係数  $P$  は、Bridgman の関係式  $BT=\kappa P$  より求められる。ここで  $\kappa$  は熱伝導度で、Carruthers の室温での値を高温に外そうすると近似的に、

$$\kappa=435/T (W\cdot deg^{-1}\cdot cm^{-1}) \dots\dots\dots (2)$$



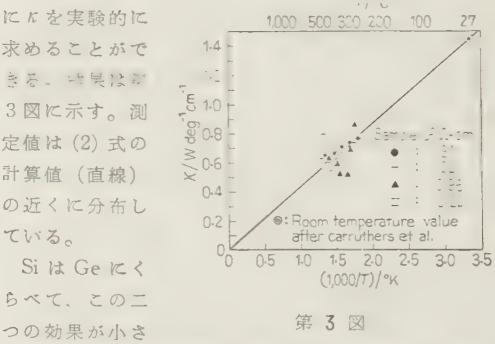
第 1 図



第 2 図

となる。 $P$  の理論曲線は第2図 (a) (b) に、測定値は (c) にそれぞれ示す。

また  $B$  および  $P$  の測定値を Bridgman の関係式に代入して、 $\kappa$  を実験的に求めることができる。結果は第3図に示す。測定値は (2) 式の計算値 (直線) の近くに分布している。



第 3 図

Si は Ge にくらべて、この二つの効果が小さいので、正確な測定値を得るため  $9,000 G$  の磁界を使用した。しかし実験誤差の範囲で、磁界に対する依存性は見られない。

Ettingshausen 係数の測定値は理論値とよく一致するが、Nernst 係数の測定値は低温側で理論曲線よりずれる。これは (1) 式が低温では成立しないためであ

ると考えられる。

(北村, 小田 弘司)

文 献

- (1) H. Mette, W. W. Gärtner & C. Loscoe: Phys. Rev. **115**, 537 (1959)

## 2-531. 多数の電子ビームの プラズマ振動

John M. Dawson: Plasma Oscillations of a Large Number of Electron Beams. [Phys. Rev., Vol. **118**, No. 2, April 15, 1960, p. 381~382]

この論文は、多数の電子ビームからなるプラズマの縦振動に関する理論である。ここでいうビームとは、空間的に無限に広がった一定速度をもつ電子の流れで、ビーム内にはランダム運動はないものとする。

これまでプラズマ振動に関して連続プラズマの仮定に基づく Landau<sup>(1)</sup>や Van Kampen<sup>(2)</sup>などの理論があるが、この論文のおもな目的は、ビームの密度分布関数が極限で連続分布関数になるようにビームの数を無限大にすることによって、Landau や Van Kampen と同じ結果を得ることができることを示すことである。

方程式はすべて線形化され、イオンは質量が無限大でプラズマ全体が中性になるように一様なバックグラウンドとして仮定する。粒子間の衝突は無視する。 $x$ 方向に進行する縦振動を考え、 $\sigma$  番目のビームの数密度と速度の摂動および無摂動量をそれぞれ  $n_\sigma$ ,  $v_\sigma$ ,  $N_\sigma$ ,  $V_\sigma$  とし、 $n_\sigma$ ,  $v_\sigma$  および電界の強さの解として

$$A(x, t) = Ae^{i(\omega t - kx)}$$

の形をしているものを求める。すると分散関係として

$$\frac{4\pi e^2}{m} \sum_{\sigma} \frac{N_{\sigma}}{\omega - kV_{\sigma}} = 1$$

をうる。Landau 減衰は、振動の各モードの減衰によるものではなくて、種々のモードの位相混合 (Phase mixing) の結果であって、衝突減衰や、波の谷の中への電子の捕獲 (Trapping) —これは非線形効果—の効果がでないことをはっきりと議論している。また、振動の進行の速度は存在するビームの最大速度を決してこえないことを示している。よく知られているように、プラズマ振動の分散関係において被積分関数が特異点をもつことからくる困難を避けるために Landau はラプラス変換を、Van Kampen は摂動分布関数にデルタ関数を導入したが、ここではビームの数を無限大にする極限操作の過程で数学的に困難を回避することができた。電子は、速度が等間隔にだけずつ異なる非常に多数のビームとなって分布しているとする。そのとき、ちょっとした変形により分散関係

$$\frac{4\pi e^2}{m} \left[ \frac{\pi^2 N' \omega/k}{k^2 \delta \sin^2(\pi \omega/k\delta)} - \frac{\pi N' \omega/k}{k^2} \cot \frac{\pi \omega}{k\delta} - \int_{-\infty}^{\infty} dV \left( \frac{N'(V)}{k(\omega - kV)} + \frac{2N'(\omega/k)\omega/k}{(\omega^2 - k^2 V^2)} \right) \right] = 1$$

を得、 $\delta \rightarrow 0$  の極限の議論を行い、Landau や Van Kampen の結果と同じ結果を得る。またこの場合の初期値問題を論じ、Landau や Van Kampen よりかなり複雑な非常によく似た結果を得ている。もちろん、ここの理論は線形理論であるから、非線形効果が重要になる時間、すなわち波に捕獲された電子の振動の周期にくらべて Landau 減衰の時間が長いならばこの理論は破れる。また、粒子の速度が非常に速く、粒子の流れの中で波の波長ぐらいの距離の間に粒子が 2~3 個だとすると、空間的に連続な粒子の流れの近似はよくない。

文 献

- (1) L. Landau: J. Phys. (U.S.S.R.) **10**, 25 (1946)  
(2) N. G. Van Kampen: Physica **21**, 949 (1955)

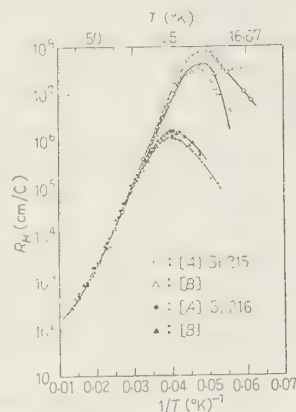
(鶴見, 小川 潔)

## 2-532. N 形シリコンの低温に おける不純物伝導

K. R. Atkins, R. Donovan & R. H. Walm-sley: Low-Temperature Impurity Conduction in  $n$ -Type Silicon. [Phys. Rev., Vol. **118**, No. 2, April 15, 1960, p. 411~414]

不純物濃度が大さいと、その波動関数は重なり合って不純物準位の幅は広くなり帯状となる。この帯の中で行われる伝導を“不純物帯伝導”という。しかし波動関数の重なり合いが不安定な中間の状態もあり、これは低温では、完全な重ね合わせが行われている場合と同様なふるまいを示す。この条件のもとでは、伝導度は試料の N 形と P 形不純物の打ち消し合う程度に鋭敏で、理論的取り扱いには Conwell, Mott, Price によって行われている。

さてこの打ち消し合いの効果を研究するために、少数不純物としてボ

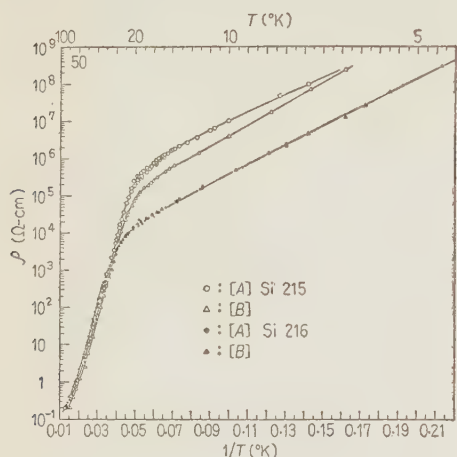


第 1 図

ロンを  $\sim 10^{15}$  atoms/cm<sup>3</sup> 含む溶液より結晶を 3/8in 成長させ、多数不純物として密度  $\sim 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup> になるようにりんを添加した結晶を 2 個 (Si 215, Si 216) 作った。Si 215 は添加位置より 1 1/2in で、また Si 216 は 1in の位置で試料を切り出した。電流を流す方向を [110] 方向としたものを Si 215 A, Si 216 A, また [100] 方向としたものを Si 215 B, Si 216 B と記号を付ける。(第 1 表参照) これら 4 個の試料のホール係数および固有抵抗を測定した。結果は第 1 図、第 2 図に

第 1 表

Specimen	Room temperature resistivity ( $\Omega\text{cm}$ )	Room temperature hall coefficient ( $\text{cm}^2\text{C}^{-1}$ )	Density of majority impurities $N_D(\text{cm}^{-3})$	Density of minority impurities $N_A(\text{cm}^{-3})$	Activation energy $e$ (eV) Experimental	Activation energy $e_P$ (eV) Mott model
Si 215A	0.091		$1.1 \times 10^{17}$	$0.8 \times 10^{18}$	0.0050	0.0027
Si 215B	0.063	43	$1.9 \times 10^{17}$	"	0.0058	0.0035
Si 216A	0.062	"	"	$3.5 \times 10^{18}$	0.0051	0.0025
Si 216B	0.051	"	$2.5 \times 10^{17}$	"	"	0.0030



第 2 図

示す。図より理解されるように、Si 215 と Si 216 の少数不純物濃度の比は 4.4 であるが、20°K でホール係数の比は 200、固有抵抗の比は 20 で、少数不純物密度が大きな影響をおよぼすことを示している。

Mott によると、負に荷電されたアクセプタの近くの正に荷電したドナーにある正孔は  $-e^2 N_D^{1/3}/K$  の静電ポテンシャルを持っている。 $N_D \gg N_A$  であるため、正孔はアクセプタのない位置に捕えられるようになる。このモデルにより Price が求めた活性化エネルギーは、

$$e_P = 0.45 (4\pi/3)^{1/3} (N_D^{1/3} - 2N_A^{1/3}) e^2 / K$$

である。計算値は第 1 表に示してあるが、実測値の約 1/2 で Mott の理論にはやや不完全なところがあると思われると報告している。(北村, 小田 弘司)

### 2-533. Si, Ge の幅の狭い P-N 接合における内部電界放出

A. G. Chynoweth, W. L. Feldmann, C. A. Lee, R. A. Logan & G. L. Pearson: Internal Field Emission at Narrow Silicon and Germanium p-n Junctions. [Phys. Rev., Vol. 118, No. 2, April 15, 1960, p. 425~434]

最近まで内部電界放出の理論は価電子帯より伝導帯へ直接遷移する確率にのみ注目し、Phonon の効果は無視してきた。しかし各種半導体中で直接または間接遷移が起っており、特に  $k=0$  に禁止帯幅の極小がなけ

れば Phonon 密度が小さくても間接遷移のほうが大きくなることが知られている。この報告

では Phonon が間接遷移に貢献している割合を知るため間接遷移が強い Si および直接遷移が優勢な Ge で幅の狭い P-N 接合を作り、内部電界放出を測定して逆方向特性とその温度依存性により検討している。試料として使用した P-N 接合の性質を下表に示す。

第 1 表

	Silicon			Germanium
Impurity, $n^+$	As	As	As	As
Resistivity ( $\Omega\text{cm}$ )	0.001	0.003	0.007	0.0035
$n$ concentration ( $\text{cm}^{-3}$ )	$7 \times 10^{19}$	$2.5 \times 10^{19}$	$8 \times 10^{18}$	$2.7 \times 10^{18}$
$p^+$ alloying impurity	Al	Al	Al	Al
$p$ concentration ( $\text{cm}^{-3}$ )	$1.3 \times 10^{19}$	$1.3 \times 10^{19}$	$1.3 \times 10^{19}$	$4 \times 10^{20}$
$V_{in}$ (eV)	0.06	0.03	0.01	0.01
$V_{ip}$ (eV)	0.04	0.04	0.04	0.76
$V_i = V_{in} + V_{ip} + e\phi$ (eV)	1.25	1.22	1.20	1.43
$V_i$ expt.	0.82	0.89	0.92	0.59
$<W_i>_{av}$ measured ( $\times 10^{-4} \text{cm V}^{-1/2}$ )	90	110	125	310
$W_{i, calculated}$ ( $\times 10^{-4} \text{cm V}^{-1/2}$ )	110	125	160	260

まず逆方向特性については、直接遷移トンネル確率  $P_D$  は、

$$P_D = \exp[-\pi(m^*)^{1/2} \epsilon^{3/2} / 2 e \hbar E] = \exp(-\alpha_D \epsilon^{3/2} / E) \quad (1)$$

$\epsilon$  は禁止帯幅、 $\alpha_D = \pi(m^*)^{1/2} / 2 e \hbar$ 、また Phonon の吸収放出による間接遷移トンネル確率はそれぞれ

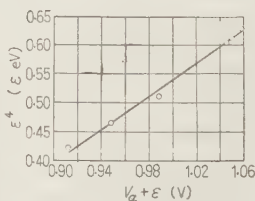
$$P_A = \exp[-\alpha_I (\epsilon - \hbar\omega)^{3/2} / E] \quad (2)$$

$$P_E = \exp[-\alpha_I (\epsilon + \hbar\omega)^{3/2} / E] \quad (3)$$

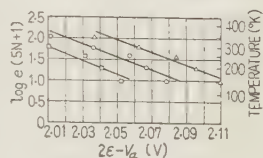
ここで  $\alpha_I = 4(2m^*)^{1/2} / 3 e \hbar$ 、 $\hbar\omega$  は Phonon energy である。この確率を使用すると、測定される電流  $I_m$  は

$$I_m = A V_a^2 E^2 P \quad (4)$$

となる。 $A$  は定数、 $V_a$  はバイアス電圧である。接合



第 2 図



第 3 図



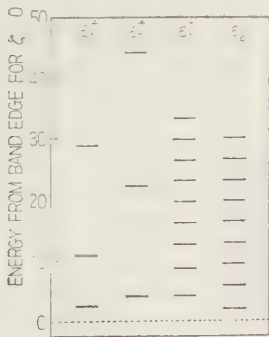
に加わる電界  $E$  は, ( $V_i$  を Built-in 電圧とする)  
 $E=2(V_a+V_i)/W=2(V_a+V_i)^{1/2}/W_1 \dots\dots(5)$   
 $V_a \ll V_i$  とし, (1), (4), (5) 式より近似に,  
 $d(\ln I_m)/d(\ln V_a)=P+(B/2 V_i^{3/2}) V_a$

となる。 $B=(\alpha \epsilon^{3/2} W_1/2)$  である。 $d(\ln I_m)/d(\ln V_a)$  対  $V_a$  を描くと, こう配  $B/2 V_i^{3/2}$  が得られ, (第1図参照)  $\alpha \epsilon^{3/2}$  の測定値は理論値とよく一致する。(第2表参照)

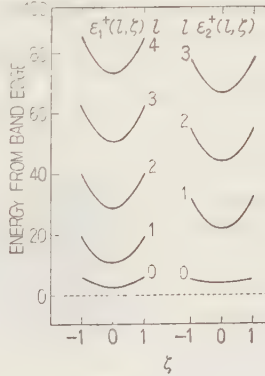
第 2 表

	Experiment A	Experiment B	Theory
Si 0.001 $\Omega\text{cm}$	$9.6 \times 10^7$	Si	
Si 0.003 "	$6.5 \times 10^7$	average	$4.8 \times 10^7$
Si 0.007 "	$7.0 \times 10^7$	$7.7 \times 10^7$	
Ge 0.0035 "	$2.8 \times 10^7$		$1.8 \times 10^7$

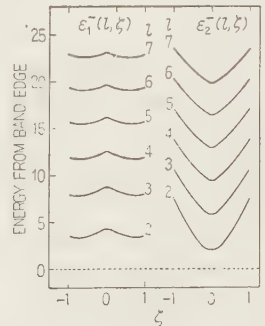
次に内部電界放出の温度依存性についてみると, Ge では ( $V_a+\epsilon$ ) 対  $\epsilon^4$  の関係は第2図に示すように直線となり,  $V_a$  の温度変化はすなわち, 禁止帯幅の温度変化であることを示している。つまり Ge では Phonon の影響は見られない。Si では横音響 Phonon (0.019 eV) および 横光学 Phonon (0.058 eV) のいずれか, または両者の結合が考えられる。しかし実験結果(第3図)は 0.019 eV のエネルギーを持つ Phonon の影響を含めた計算値とよく一致する。もっとも測定結果の解析は Phonon energy にあまり敏感に依存しないけれども, このような特別なエネルギーを持つ Phonon が影響をおよぼすということは, 現在の段階では興味ある問題であると報告している。(北村, 小田 両司)



第 1 図



第 2 図



第 3 図

## 2-534. ゲルマニウムの価電子帯構造について

R. F. Wallis & H. J. Bowlden: Theory of the Valence Band Structure of Germanium in an External Magnetic Field. [Phys. Rev., Vol. 118, No. 2, April 15, 1960, p. 456~461]

サイクロトロン共鳴や Interband magneto-optical (IMO) 効果などの吸収線の位置および強度を理解するためには Magnetic sub-bands (Landau levels) の構造を詳しく知る必要がある。ここでは Luttinger の理論を發展させて, 価電帯の縮退がもたらす量子効果を明らかにしている。

外部磁界が存在する場合の有効質量 Hamiltonian の固有値は, 固有 Vector および Schrödinger 方程式より得た永年方程式より求められる。〔(1)式〕

(1)式で,  $\zeta = k_z/s^{1/2}$ ,  $s = eH/hc$ ,  $\epsilon$  はエネルギーで  $he H/mc$  を単位とする。(1)式の  $\zeta=0$  とすると二つの二次方程式が得られ, それぞれ  $\epsilon_1^+(l)$ ,  $\epsilon_1^-(l)$  および  $\epsilon_2^+(l)$ ,  $\epsilon_2^-(l)$  の解を持っている。物理的意味のある解は,  $\epsilon_1^+(l)$ ,  $\epsilon_2^+(l)$  では  $l=0, 1, 2, \dots$  の場合,  $\epsilon_1^-(l)$ ,  $\epsilon_2^-(l)$  では  $l=2, 3, 4, \dots$  の場合である。ゲルマニウムでは  $\gamma_1=13.20$ ,  $\tilde{\gamma}=4.92$ ,  $\kappa=3.30$  であるから計算結果は第1図のようになる。 $\epsilon_1^+(l)$ ,  $\epsilon_2^+(l)$  は軽い孔,  $\epsilon_1^-(l)$ ,  $\epsilon_2^-(l)$  は重い孔のエネルギー単位をそれぞれ示す。

さて  $\zeta \neq 0$  の場合にはこのような取り扱いはできないので  $\zeta$  に摂動計算を行う。二次摂動の結果を (2) 式に示す。

$$\begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 \begin{array}{l}
 (\gamma_1 + \tilde{\gamma})(l-2+1/2) \\
 + \frac{1}{2}(\gamma_1 - 2\tilde{\gamma})\zeta^2 + \frac{3}{2}\kappa - \epsilon \\
 - \tilde{\gamma}[3l(l-1)]^{1/2} \\
 \tilde{\gamma}[6(l-1)]^{1/2}\zeta \\
 0
 \end{array}
 &
 \begin{array}{l}
 -\tilde{\gamma}[3l(l-1)]^{1/2} \\
 (\gamma_1 - \tilde{\gamma})(l + \frac{1}{2}) \\
 + \frac{1}{2}(\gamma_1 + 2\tilde{\gamma})\zeta^2 - \frac{1}{2}\kappa - \epsilon \\
 0 \\
 -\tilde{\gamma}[6(l+1)]^{1/2}\zeta
 \end{array}
 &
 \begin{array}{l}
 \tilde{\gamma}[6(l-1)]^{1/2}\zeta \\
 0 \\
 (\gamma_1 - \tilde{\gamma})(l-1+1/2) \\
 + \frac{1}{2}(\gamma_1 + 2\tilde{\gamma})\zeta^2 + \frac{1}{2}\kappa - \epsilon \\
 -\tilde{\gamma}[3l(l+1)]^{1/2}
 \end{array}
 &
 \begin{array}{l}
 \tilde{\gamma}[6(l-1)]^{1/2}\zeta \\
 0 \\
 -\tilde{\gamma}[6(l+1)]^{1/2}\zeta \\
 \dots(1)
 \end{array}
 \end{array}
 \Bigg| = 0$$

$\varepsilon(l, \zeta) = \varepsilon(l) + (\hbar^2 s / 2 m^*) \zeta^2 \dots\dots\dots (2)$

ここで  $m^*$  は  $\zeta=0$  での Magnetic sub-band の曲率有効質量である。計算を行うと軽い孔の有効質量比は帯の端では大きく、内部ではサイクロトロン共鳴で得られた値(0.04)に近くなる。しかし重い孔の Sub-band では、有効質量比はサイクロトロン共鳴の 0.3 よりはるかに小さく、ことに  $1^-$  単位では負になっている。(第 1 表参照)

$|\zeta|$  の種々の値について (1) 式の正確な解を求めるために電子計算機を使用した。結果は第 2 図、第 3 図に示す。軽い孔の場合には Sab-band は第 1 表の有効質量に関係した曲率を持つ放物線になる。重い孔では、 $2^-$  単位は大体放物線であるが  $|\zeta|$  が大になると放物線でなくなる。また  $1^-$  単位は  $\zeta=0$  に極大、 $|\zeta| \neq 0$  の対称な位置で極小を示す。

第 1 表

$l$	$1^+$	$2^+$	$1^-$	$2^-$
0	0.120	0.298		
1	0.076	0.055		
2	0.045	0.048	-0.064	0.065
3	0.043	0.046	-0.038	0.041
4	"	0.045	-0.027	0.030
5			-0.021	0.023

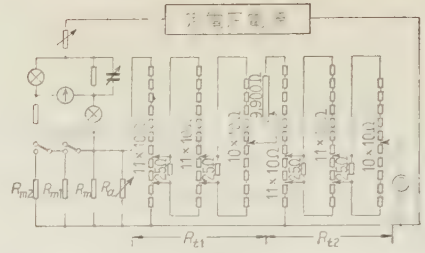
このように価電子帯中の Sub-band のエネルギー単位が曲っているため IMO 効果に量子効果はいってくと考えられる。特に  $1^-$  単位“より”および“への”遷移は IMO 効果およびサイクロトロン効果に新しい吸収線の山を生じさせるであろうと報告している。(北村, 小田坂司)

3.535. 精密交流電圧・電流計の誤差測定

H. Helke: Fehlerbestimmung von Präzisions- Wechselspannungs- und -strommessern. Teil II Prüfung bei Frequenzen über 50 Hz. [Arch. tech. Messen, Lief. 289, Feb., 1960, S. 43~44]

50 c/s 以上の精密電圧計, 電流計の測定法を紹介する。H. Partenfelder の交流 10 mA 測定に使う熱電対による電位差計法は 50 c/s と 2 kc とで差はなく, 交流比較器 (R. Friedl-PTB) もまた周波数特性は良好である。

著者は 50 c/s 1V 実効値を発生するブリッジ法を发表<sup>(1)</sup>した。これには  $4 \mu V/mm$  の振動検流計を検出器として用いたが,  $1 \mu V/mm$  の同調形指示増幅器を使って 20 kc まで高精度を得ることができた。熱形(熱電対法および半導体抵抗法)に比較し 0.02 % 以内である。第 1 図はこれに応用して 20 c/s~20 kc における高内部抵抗を有する小さい電圧測定範囲 (真空管電圧計や整流管形計器) のものの測定回路である。1mV



$R_m$ : 標準抵抗,  $R_{m1}, R_{m2}$ :  $R_m$  の補充抵抗,  $R_a$ : 平衡用抵抗,  $R_{f1}$ : 分圧抵抗 100  $\Omega$ ,  $R_{f2}$ : 分圧抵抗 10 k $\Omega$ ,  $P$ : 供試計器

第 1 図 交流低電圧計の試験回路

まで 0.1 % で測られる。 $R_m$  に生じる 1 V の標準電圧を分圧する。本文ではこれによる測定結果も図示している。(池 田)

文 献

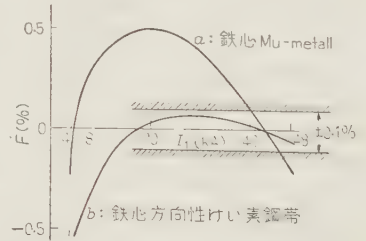
- (1) H. Helke: Arch. tech. Messen Lief. 288, 17 (1960)

3.536. 直流計器用変成器の進歩

R. Zahorka: Weiterentwicklung von Gleichstrommesswandlern. [A.E.G. Mitt., 49. Jahrg., Heft 10/11, Okt./Nov., 1959, S. 606~609]

Krämer 形直流計器用変成器の誤差は鉄心材料誤差  $-C_1/I_1=$  と漏れ誤差  $-C_2 I_1=$  に比例する。定数  $C_1$  は鉄心飽和に必要な AT 値を決め、この誤差は一次電流  $I_1=$  に対し双曲線のように減少する。定数  $C_2$  は全交番磁束と交流 コイル の漏れ 磁束との 関係で決まり、 $I_1=$  に比例して増大する。漏れ誤差は二次直流回路にリアクトルをそう入して補正しうる。鉄心材料として Mu-metall を使ったものは VDE 60 W 0.5 または 1 級, 50 kA までのものが得られ, 定格電流で 70~100 AT/cm にとる。電解方面では 150 kA までの電流で 0.1 級を要求される。それには Mu-metall 鉄心では製作しえない。鉄心には高い飽和値をもっており漏れ誤差を小さくし

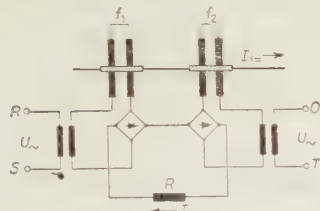
うる変圧器鉄板用の冷圧延方向性けい素鋼帯が適している。漏路や近くの鉄塊の影響もなくなる。第 1 図は 40 kA/5 A,



第 1 図 直流 CT の誤差曲線

60 W の直流 CT の電流特性を示す。このような高精度を得るには励磁電源も安定化しなければならず無接触 Relo 調整器が使われる。整流器としてはシリコン整流器が逆流小さく老化しがたく、かつ 100°C より高温にたえる点ですぐれている。

あまり精度は要しないが、制御や保護用に 50～6,000 A の直流変成器が作られている。直流 CT の波形は実際には台形であり、整流するとくさび形が残ってこれが制御や調整の妨害となる。そのために特別な手段を構じている。インピーダンス変成器やくし形配置や特殊リアクトルなどがそれである。第 2 図がくし形配置で標準構造の二つの直流 CT の交流電圧を三相交流網より位相を 90° ずらして励磁しており、出力側にはくさび形を生じない。



第 2 図 くし形配置の直流 CT

第 2 図がくし形配置で標準構造の二つの直流 CT の交流電圧を三相交流網より位相を 90° ずらして励磁しており、出力側にはくさび形を生じない。

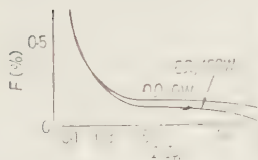
(池 田)

### 3-537. 新しい小形直流 CT

R. Zahorka: Neue Typenreihe kleiner Gleichstrommesswandler. [A. E. G. Mitt., 49. Jahrg., Heft 10/11, Okt./Nov., 1959, S. 613～611]

60 kA までの冷圧延巻鉄心をもった樹脂モールド構造の新形直流 CT を紹介する。石英粉末を含む酸化物添加樹脂でモールドしており、巻線は外力、湿気、ガスなどから完全に保護されている。普通はセレン整流器を使用する。

第 1 表にデータの一覧を示す。交流電圧は 220 V である。精度を落とせばもっと出力を上げられる。約  $\pm 3\%$  なら 1 A 二次電流のもので約 120 W, 5 A 二次電流のもので約 500 W に達する。第 1 図にその電流特性を示す。500 A 以下では一次 1 T では精度が充



第 1 図



第 2 図

第 1 表

そう入形 CT Type	一次電流 (A)	変流比 (A/A)	負担, 確度	一次導体 の外径 (mm)
IG 0.5	500	500/1	60 W. Kl. 1	33
IG 0.6	600	600/1	"	"
IG 0.8	800	800/1	"	"
IG 1	1,000	1,000/1	" 30 W. Kl. 0.5	46
IG 1.5	1,500	1,500/1	"	55
IG 2	2,000	2,000/1	"	75
IG 3	3,000	3,000/1	"	110
IG 4	4,000	4,000/5	120 W. Kl. 1	135
IG 6	6,000	6,000/5	"	180

分でなく、巻線形にしなければならない。第 2 図は貫通形の写真である。左は IG 4 形 4,000 A/5 A, 60 W, 1 級, 右は IGO 形 40 A/0.04 A, 2 W, 110 V の交流電圧で  $\pm 5\%$  である。

(池 田)

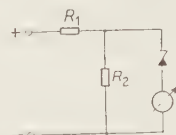
### 3-538. 電気計測への半導体素子の利用

K. Nentwig: Halbleiter-Bauelemente in der elektrischen Messtechnik. [Elektro technik: Nr. 4/5, 30. Jan., 1960, S. 24～27]

各種の半導体素子が電気計測に広範囲に使用され、その傾向がますます増大しつつある。真空管の場合は計測に使用しうる可能性は明らかなわりに実用は遅れたが、半導体素子はおおむね異なっている。半導体素子は真空管からえた経験をもととし、それにとって代わる場合（真空管の駆逐）もあるが、たとえばホール発電器のように直ちに計測の目的に使用される例（新技術の開発）もあるのである。

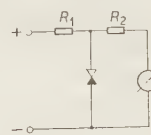
計測用直流電源を得る整流器には半導体が内部電圧降下小さく小電圧で高い整流効率を得られ、寿命も長いので真空管に代わりつつある。シリコンでは著しい場所の節約が可能である。制御可能な半導体整流器も使われ出した。

計器用整流器としてのダイオードは数十年前から酸化銅整流器がよく使われてきた。しかし高周波用はゲルマニウムダイオードによらなければならない、真空管



第 1 図

ゼナーダイオード  
による零点の圧縮



第 2 図

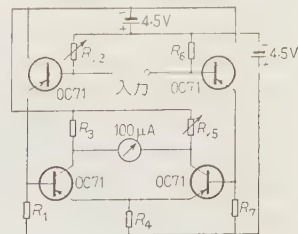
ゼナーダイオード  
による過負荷保護

電圧計に代わろうとしている。ダイオードは可動コイル形計器とともに周波計、位相角計、回転計、ひずみ計、出力計などの指示系に用いる。

定値電圧計のように、ある目盛範囲で特に高い読み精度を得るためにダイオードが使われる。(第 1 図) 従来も機械的方法で可能であったが、電氣的に零点を圧縮するほうがすぐ

れている。そのほか対数目盛や過負荷保護 (第 2 図) にも用いる。

計測には電圧標準にウエストン電池が広く使われるが、ゼナーダイオードを使った比較電圧すなわち照合



第 3 図 トランジスタ式  
高感度直流電圧計



電圧が将来一般化するだろう。

計測器にはトランジスタがたくさん使用されている。温度影響も回路手段で解決されつつある。今後トランジスタ使用によるミニチュア化した新式計器が人工衛星や宇宙ロケットの測定設備に例をみるように出現してくるだろう。

光子として照度，露出，反射，色彩，色温度などの測定にセレンからシリコンにかわってさらに大出力，高感度，堅牢性が得られた。また放射を測ることで間接的な高周波電流や電力の測定が可能となった。

熱素子としては液体，気体，ガスの流れの測定，皮膚などの表面温度測定ができる。

電圧依存性の抵抗として過電圧による計器の保護や波形さい断の役を果たす。

ホール発電器としては磁界測定や演算器などが利用されている。(池田)

### 3-539. 大電力系統の遠隔測定

D. E. Johannson: Telemetry Applications and Operation on a Large Power System. [Elect. Engng, Vol. 79, No. 5, May, 1960, p. 400~404]

Bonneville Power Administration の送電系統で用いられている連続遠隔測定装置について述べている。

その装置には，三つの形があるが，その基本的な動作は類似している点が多い。しかし，測定量が0から定格値まで変化したとき，それに対応する周波数シフトの範囲には相違がある。

電力系統の1日の操作のスケジュールを保持するための M.W.H. 積算計には従来，機械的なものと，パルスを用いたものがあったが，ともに多くの欠点を有していた。この B.P.A. 系統では上の2者とは異なった形式のものが約25個用いられ，満足すべき結果を得ている。それは高い安定度を有する直流増幅器を根幹とし，コンデンサ充電回路により積算を行わせるものである。大きさや極性が瞬時電力の流れに直接関係している。直流 mV 程度の遠隔測定信号入力が増幅され，積算用コンデンサを充電する。それによって帰還用の速度計用発電機を駆動する電動機の回路はスイッチ回路を通して制御される。その速度計用発電機の出力は，入力信号に反対であって，それを打ち消そうとする。そしてコンデンサが放電されれば，電動機は停止する。この積算機能および帰還がくり返し行われると，速度計用発電機の出力の電圧-時間積算は軸の回転した数に正確に比例することになる。この積算計の誤差は0.1%程度であって，どの形式の遠隔測定装置にも容易に適應しうるものである。

B.P.A. 系統においては，氷雪荷重に対する遠隔測定も行われている。それはひずみ計によっているのである。この遠隔測定装置と搬送波装置とを操作する電

力は，特別な装置を用いることにより230 kV 送電線から得ているが，その送電線に事故が起きたときは，自動的に Ni-Cd 蓄電池にそれを移すことにより少なくとも8hは運転が中止されない。B.P.A. 系統の遠隔測定は，ほとんど Tone-submultiplexed microwave channel を用いている。そこにおける雑音の影響をのぞくために，雑音しゃ断受量装置が用いられている。

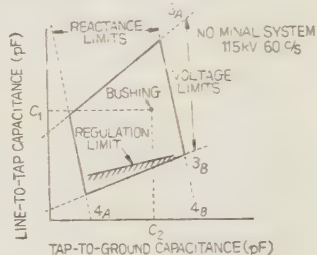
池田，山崎修央)

### 3-540. 多重比のブッシング形 PD

K. W. Eissmann: Bushing Potential Device with Multiple Ratings and Universal Application. [Pwr Apparatus and Syst., No. 46, Feb., 1960, p. 1565~1567]

ブッシングの定格電圧，製造者の相違により高圧側静電容量値  $C_1$  が違うので，そのつど異なった分圧装置を必要とする。分圧装置の共振リアクトルを可変ならしめることにより，多重比が得られ，分圧装置の適用がきわめて広

くなる。115~345 kV の系統電圧の46局所で115, 138, 161, 230 kV の4電圧定格用の装置が得られると96%をカバーしうる。単一電圧定格なら22%にすぎない。



第1図

多重比にするにあたっては電圧，リアクトル，電圧変動率の三つの制限を検討しなければならない。

変圧比は  $C_2$  と並列の補助コンデンサ  $C_3$  で調整される。すなわち

$$C_1 = \frac{C_2 + C_{3min}}{\frac{E_{1max}}{E_{2max}} - 1} \quad \dots\dots\dots (3A)$$

から

$$C_1 = \frac{C_2 + C_{3max}}{\frac{E_{1min}}{E_{2min}} - 1} \quad \dots\dots\dots (3B)$$

にまたがることになる。 $E_{2max}$  は  $115 \text{ V} \times$  最大変圧比， $E_{2min}$  は  $115 \text{ V} \times$  最小変圧比で得られる。

リアクタンス制限は

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_{cmax}} - (C_2 + C_{3min}) \quad \dots\dots\dots (4A)$$

から

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_{cmin}} - (C_2 + C_{3max}) \quad \dots\dots\dots (4B)$$

となる。

以上の関係をプロットすると第1図を得る。さらに

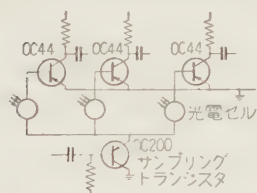
これに  $C_1$  が小さすぎると電圧変動率の制限がはいることになる。(池 田)

(池田)

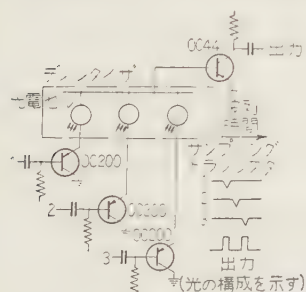
## 3-541. 光学的数字式計器の設計

I. R. Young: The Design of Optical Digital Instruments. (Electronic Engng, Vol. 32, No. 388, June, 1960, p. 359~365)

回転変位をデジタル的に検出するのに、符号板による方法とモアレしماによる方法がある。本文では主としてこの二つの方法について光学的検出の手法が述べられている。後者のモアレしماによる方法は特に高精度を目的とした場合に用いられ、計数式であるので誤計数の危険がある。そこで一般にはたとえば100目盛ごとにチェックマークを付しておいて、誤計数の有無をチェックする方法がとられる。さらにこの方法の欠点は検出器1個につき必ず1台の計数器を必要とし、したがって多数の同時測定にとっては経済的に不適当である。ところが符号板方式は時分割によって多数の同時測定を容易に行いうる特徴をもっており、本論文には主としてこの方法が詳しく述べられている。符号板の光電的読み取り方法は三つに大別できる。第1法はけた数に相当する個数の光電検出器と直流ランプを使用する方法、第2法は第1法において直流ランプの代



電セルが用いられ、特に時分割方式の場合に適している。時分割測定を行うために、検出器のサンプリング動作をさせる必要があり、これには並列的サンプリングと直列的サンプリングの2方法がある。前者を第1



第2図 直列的サンプリング は各光電セルごとにサンプリングトランジスタを有し、図に示すようにこれらを時間的に少しずつずらせて断続を行うものである。したがって、この場合はパルス増幅用トランジ

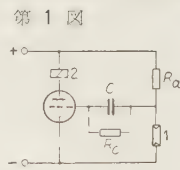
スタ OC 44 は 1 個でよい。(池田、楠井昭二)

### 3・542. 日負荷曲線の調査のための新方法

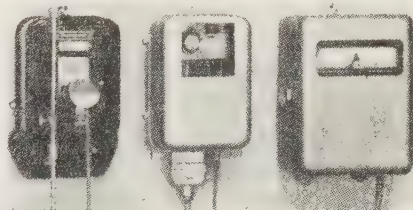
H. Laakmann: Neues Verfahren zum Ermitteln der Tagesbelastungskurve. (Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-B, 12. Jahrg., Heft 13, 27. Juni, 1960, S. 317~319)

電力供給端の電力負荷の状況を解析するために、これら消費者の個々の日負荷経過の状況を知る必要がある。ここで述べられているのは各消費者の各時刻における電力量を調査するために考案された測定装置である。実情の解析は記録器に書き込まれた記録に基づいて、データを中央に集中して行う。

測定装置は検出器、増幅変換器、記録器よりなる。測定法の大要は次のようである。誘導形積算電力計の回転円板の赤印を光学的に検出し、その電圧パルスによりステップモータを進め、電動機の軸と連結された電位差計を動かす。一定時間(3 min)たったとき、その時間内のパルス数に応じた電動機の回転角が得られ、これに比例した電圧が出る。この電圧がそのときの平均電力に比例している。この値を記録してゆけば、最終的に日負荷変化に応じた階段状の線が得られる。



検出器は第1図に示される。1が投丸器、これより出た光は2の受光器にはいる。ここには青に鋭敏な光抵抗体がある。第2図は増幅部である。1が光抵抗体、2が継電器、赤印の通過ごとに働きステップモータを1刻みだけ前進させる。抵抗  $R_c$  は  $R_a$  にくらべて充分大きく、負のバイアスが適当にかかり、小さい変動に対しては継電器が働かないようになっている。第3図の左は検出器をとりつけた積算電力計、中央が測定値の変換ならびにプログラム器がはいっている。

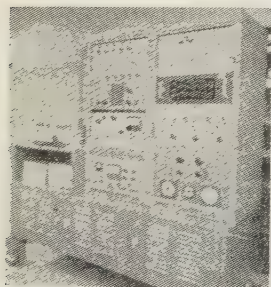


る。右は記録器である。測定値変換器は継電器を通してパルスによるステップモータを回す。電動機と電位差計とが連結されている。電動機1回転が計器円板の75~450回転に相当する。プログラム器は3個のカムを使用して、4min周期で3minの測定と、記録器の動作、また変換器との結合などを行う。全装置の消費電力は300Wである。(池田、米沢慎吾)

### 3・543. エンジン試験用の動的記録

Richard H. Cerni: Dynamic Recording for Engine Test. [Instruments and Control Syst., Vol. 33, No. 3, March, 1960, p. 420~423]

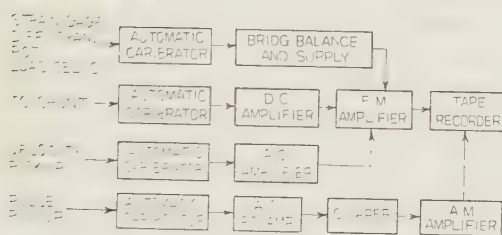
航空機用ガスタービンエンジンに使用される動的計測についてピックアップを含め直接記入記録、写真記録、磁気テープ記録のそれぞれにつき述べている。3種の記録が対象の周波数に応じて選ばれる。第1図は携帯可能の磁気テープ記録計で14チャンネル、自動校正の能力をもっている。第2図はその付属系を示す。自動校正の出力に通常直記モニターを用いる。



第1図

温度測定は、0~600 F は銅-コンスタンタン熱電対、0~2,000 F はクロメルアルメル熱電対を用い、燃ガスの動的溫度測定を主としてタービンの変位も測定される。精度は定格の  $\pm 3\%$ 。

圧力の測定は 0~1~0~1,000 psi の広範囲にわたり、精度は  $\pm 1\%$  であるが、いままで開発された変換器で測定できる。



第2図

流量計はタービン流量計で流量に比例する周波数信号を得て変換器に変換して記録する。精度 2~3%。

速度は全速で 2,000 c/s 出力のエンジンタコジェネレータで高周波信号を得る。

振動や変位は速度ピックアップによる。写真オシログラフや磁気テープ記録を使う。

トルクは圧力変換器、位置は差動変圧器で検出し 2~3% の精度で測られる。

電圧は分圧器を使用し、電流は接地側に分流器を入れて測定する。(ともに 50 mV) 電磁オシロは電流測定のほかにもひずみ計などにも活用される。(池田)

### 3・544. 半導体フィラメントの 光伝導の減衰におよぼす 横方向モードの影響

J. S. Blakemore & K. C. Nomura: Influence of Transverse Modes on Photoconductive Decay in Filaments. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 5, May, 1960, p. 753~761]

直立体にきり出されている半導体(長さ方向が  $x=0$  および  $x=2A$  で、幅が  $y=0$  および  $y=2B$ 、厚さが  $z=0$  および  $z=2C$  の平面によってそれぞれ限られている)の中で過剰担体がバルクの再結合と表面の再結合の両方によって減衰する様子は Shockley<sup>(1)</sup>によって論じられている。この論文では基本モード以外の高次のモードが過剰担体の減衰にどのように影響するかを評価している。過剰担体の生成が時間および空間について分離可能な任意の関数  $g=g_0 \cdot r(x_0, y_0, z_0) \cdot s(t_0)$  で表わされ、半導体は等方的で均一であり、トラップがなく、バルクの再結合速度  $\nu_b$  は過剰担体の密度  $n_1$  に依存しないと仮定する。そうすると連続の方程式は

$$\partial n_1 / \partial t = g - (1/q) \operatorname{div} \mathbf{I} - n_1 \nu_b \quad (1)$$

境界条件としては表面再結合速度  $s(x, y, z, t)$  を使って、各表面において

$$\mathbf{I} = q s n_1 \quad (2)$$

この条件と  $t=0$  で  $n_1=0$  という初期条件を仮定し、グリーン関数を使えば(1)式は一般的に解け、かつ表面再結合速度が大きく、また長さ方向が厚みや幅にくらべて大きいとし  $y$  および  $z$  方向だけを考慮に入れば

$$n_1 = \frac{1}{BC} \exp[-\nu_b t] \sum_{jk} \gamma_{jk} \exp[-\nu_{jk} t] \times \sin\left(\frac{j\pi y}{2B}\right) \sin\left(\frac{k\pi z}{2C}\right) \quad (3)$$

$$\text{ここに、} \nu_{jk} = \frac{\pi^2 D}{4} \left[ \frac{j^2}{B^2} + \frac{k^2}{C^2} \right] \quad (D \text{ 拡散定数})$$

$$\gamma_{jk} = \left\{ \int_0^t s(t_0, \exp[t_0(\nu_b + \nu_{jk})]) dt_0 \right\} \times \left\{ \int_0^{2B} \int_0^{2C} g_0 r(y_0, z_0) \times \sin(j\pi y_0/2B) \times \sin(k\pi z_0/2C) dy_0 dz_0 \right\}$$

これを以下に述べるいくつかの特殊な場合に適用して、時間  $t=t^*$  ( $t^*$  は励起をやめた時間) に対する  $F(t) = N(t)/N(t^*)$  ( $N(t)$ ,  $N(t^*)$  はそれぞれ時間  $t$  および  $t^*$  における過剰担体の数で  $n_1$  を  $y_1 z_1$  について積





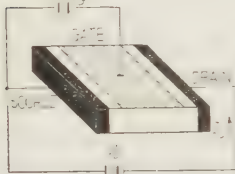


場合の実装密度は  $1\text{ ft}^2$  あたり 1,600 万個である。第 3 図は装機の一例を示す。(豊田, 有本藤造)

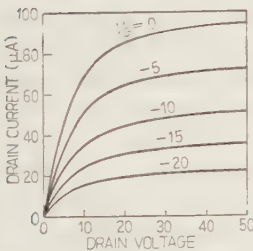
#### 4-548. CdS による電界効果 光トランジスタ

R. R. Bockemuehl: Cadmium Sulfide Field Effect Phototransistor. [Proc. Inst. Radio Engrs, Vol. 48, No. 5, May, 1960, p. 875~882]

CdS の単結晶についていわゆる電界効果を測定したところ、トランジスタ構造として充分能動素子の作用を示すだけでなく物理的にも興味ある結果が得られた。薄い CdS 単結晶片を、 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  の大きさに切る。厚さは  $0.15 \sim 0.5\text{ mm}$  の間で、これは成長したとおりの状態で使用する。この結晶は Boyd-Sihvonen の再結晶法で作った。これに第 1 図のように電極をつけ、電界効果トランジスタの構造にする。ゲート電極は、真空中で銅を蒸着してつくるが、この場合ただついただけでなく室内で  $400^\circ\text{C}$  に加熱するとともに“こつ”がある。このゲート電極の



第 1 図  
実験装置と電極



第 2 図 CdS トラン  
ジスタの静特性

ft-cd の光照射のもとにおける様子である。代表的なデータは

- ピンチオフ電流 ( $V_G=0$ ):  $200\text{ }\mu\text{A}$
- ピンチオフ電圧:  $30\text{ V}$
- Mutual transconductance:  $20\text{ }\mu\text{mhos}$
- 短絡電流利得: 400
- 出力インピーダンス:  $50\text{ }\Omega$
- 入力インピーダンス:  $20 \sim 100\text{ M}\Omega$

となっている。特性は  $-50 \sim 150^\circ\text{F}$  の間でほとんど変化を示さなかった。ただし、光照射を、発熱球でなく  $5,300\text{ \AA}$  以上の波長の光で行うと相当の温度依存性が現われる。

この装置は、まず光によって正孔と電子とができるが、正孔のほうが電界で働かないために空間電荷を形

成し、その空間電荷の境界が電界の印加によって変調されるということで動作すると考えられる。特性の光に対する感度と、電界効果の理論とを合わせようとしたが、結局、結晶内部のキャリア分布が複雑で、照射光の波長と、クエンチの強さによって変化することがわかった。(鳩山, 菊池 誠)

#### 4-549. 半導体のホール効果を用いた インピーダンス継電器

H. E. M. Barlow & J. C. Beal: An Experimental Impedance Relay Using The Hall Effect in a Semiconductor. [Proc. Instn. Elect. Engrs, Vol. 107, Pt. A, No. 31, Feb., 1960, p. 48~50]

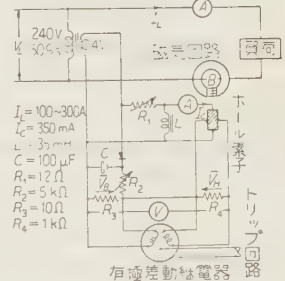
ケーブルや送電線保護のために従来用いられているインピーダンス継電器は、同一回転円板に、電圧の二乗および電力のそれぞれに比例したトルクが逆方向に働いてつり合っているメカニズムであって、負荷や回路に故障が生じてインピーダンスが変化すると、つり合いが破れて円板が回転し、継電器が働くものである。

本論文で紹介されている新しいインピーダンス継電器は、電力要素をホール効果で、また電圧二乗要素を整流器で表わしたもので、いずれも半導体素子を用いているために、装置がきわめてコンパクトになる利点がある。

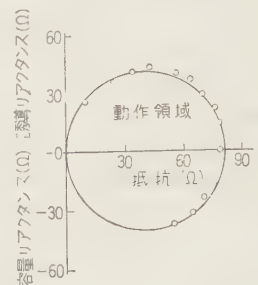
すなわち、ホール効果によるホール電圧は、磁束密度とホール電流に比例するので、送電電流で電磁石を励磁し、磁極間に置いた半導体ホール素子に送電電圧に比例したホール電流を流すことにより、そのホール電圧を電力  $VI \cos \phi$  に比例させることができる。

商用周波数の場合、ホール電圧は、電力に比例した直流分と  $100\text{ c/s}$  の交流分とを含むが、本方式では直流分のみを利用している。

全装置の構成は第 1 図のようである。もし短絡故障が起れば、継電器接点におけるインピーダンスが低



第 1 図 試験回路



第 2 図 インピーダンス図



下し、電流が増加して抵抗  $R_4$  に現われるホール電圧  $\bar{V}_R$  が、平常時における平衡値  $\bar{V}_B$  より大となり、不平衡電圧が生じて電磁継電器を働かせる。

実験に用いた半導体ホール素子は、 $0.2 \times 0.1 \times 0.013$  in の大きさのインジウムアンチモナイドの結晶で、内径 0.5、外径 1 in の円環状鉄心よりなる電磁石のギャップ内にマイカ板をはさんでそう入してある。ホール素子の過熱を防ぐために、350 mA 以下に抑えている。

この装置は、変化による不平衡電圧の大きさを一定とするような、回路のインピーダンスを測定すると第 2 図のようになり、理論計算より求められる円とよく一致する。

(北村, 片岡照栄)

### 6-550. A.E.G. の磁気増幅器の 応用特集号

[A.E.G. Mitt., 49. Jahrg., Heft 10/11,  
Oct. Nov., 1959, S. 453~617]

A.E.G. 社における磁気増幅器の応用を、発電、定電圧電源、各種工業、鉄道、船舶、計測、試験の分野について 30 種の実例を示して平易に解説している。このうち、多くはわが国においても開発されたものであるが、中で注目をひくものとしては、発電分野において  $143$  MVA のタービン発電機の磁気制御装置として 3 種を実験比較している。すなわち、接点制御装置による制御、接点制御装置を制御巻線入力にもつアンプリダイン、磁気増幅器で制御するアンプリダインでこの応答および精度が示され、結果として認められている。

定電圧電源では、Matthes が正弦波出力をうるために直列共振並列共振を併用したフィルタについて述べ、実験結果を示している。

Winkler は、磁気増幅器と格子制御放電管を組み合わせて電池の自動充電装置を製作している。本器は 3 段階（最初最大電流 600 A、次に一定電圧 535 V 最後に一定電流 30 A）に分れて動作するもので、使用した磁気増幅器に必要な補償特性を持たず帰還回路および全体の制御系の設計について詳述される。

Fiebig は回転数制御への磁気増幅器の応用を述べているが、磁気増幅器の時間遅れの影響を防ぐために Ramey の全波形追従性磁気増幅器とスイッチングトランジスタの組み合わせを実用化している。

Heinzeling は可飽和リアクトルを使用した定電圧電源の磁気制御する電気機関車の抵抗制動装置を製作している。これに使用した磁気増幅器は  $16\%/s$  の時間定数、大きさの点で商用周波数の製法に類似した点で Over swing に対して注意すべき特性を備えている。

最後に、わが国が新しく定めた製品の系列として、2.8 kW から 187 kW の直流電動機の駆動用磁気増幅器

の 2 種 IR 補償および電流制御の併用) の諸特性と、500 A から 6,000 A の直流変流器の性能が表示されている。

珍しい工業上の応用として Fritzsche は数種の材料を一定割合で混合する装置として、液体はポンプ、のり状物質は翼車、粒状物質はパイプレータを磁気増幅器で制御する電動機または直巻磁気増幅器で駆動する例を示している。そのほか、製紙、炉、溶接、集じん、鉄道、船舶、温度測定などへの応用が示されている。

(池田, 辻 三郎)

### 6-551. 同期機高圧巻線の劣化測定

K. W. Edwin u. W. H. Zwignagl: Alterungsmessungen an Hochspannungswicklungen von Synchronmaschinen. (Elektrotech. u. Maschinenbau EuM), 77. Jahrg., Heft 7, 1. April, 1960, S. 141~148]

オーストリアの一電力会社で定期的に実施した発電機巻線の劣化試験の結果をとりまとめたものである。試験の項目として二つの直流試験、 $\tan \delta$  試験を選び、従来からの方法を総合的に用いれば巻線の平均的劣化を正しく評価できるが、寿命と直接結びついている局所的な特性をつかむには充分でない。したがって定期絶縁診断の課題である絶縁の残存寿命を予知し、運転の信頼性をあげるには充分でない。測定方法などをさらに研究する必要があると結論している。

試験の対象にした発電機は定格電圧 5, 6 kV および 10, 10.5 kV 大半が出力 25 MVA 程度の中形機 23 台である。すべて従来の天然樹脂を用いた絶縁方式で、70% がマイカホルウムを主絶縁として、る。測定値は使用時間  $t_s = W_s/P_s$ 、ただし  $W_s$  = 運転開始以来の積算皮相電力 (MVAh)、 $P_s$  = 皮相電力 (MVA) を横軸とする 4 枚のカーブに発電機別にプロットされている。あわせて劣化測定開始以後に起った絶縁破壊事故を明記し、測定方法の劣化検出への適用性についての検討に用いている。

直流試験では電流 1 分値  $I_1'$  を電圧  $U_s$  と静電容量  $C$  の積で求めた値  $I_1'/U_s \cdot C$  は劣化に関係ない。試験温度は  $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 、成極指数  $2 \sim 4$  の乾燥絶縁材料である。交流試験では  $\tan \delta$  電圧特性から最大  $\tan \delta$  の電圧  $(\Delta \tan \delta / \Delta U)_{\max}$  とコロナ開始電圧  $U_{G1}$  を求めた。使用時間が非常に長くなると最大  $\tan \delta$  上昇率は増加する傾向があるが、事故統計と比較して、絶縁破壊電圧とは関係がない。コロナ開始電圧は装置の感度その他に著しく依存する。ここでは  $\tan \delta_0$  より 0.5%  $\tan \delta$  が上昇する電圧を  $U_{G1}$  と定義する。 $U_{G1}$  は最初の 10,000 h で著しく低下し、以後落着く傾向がある。この程度の時間で熱的機械的条件のために絶縁組織がゆるむと考えられる。 $U_{G1}$  が使用電圧以上でも事故が発生していることは注目値する。

以上の平均的特性に対して局部的特性をはあくするため、模擬スロットに入れた1本のバーの各所に測定探針をあて雑音計で雑音電圧を測定した。続けて耐圧試験を実施した結果、最大の雑音レベルを示した近辺で破壊した。雑音電圧測定にはまだ種々の障害がある。なお本報告には経年測定の経済的有用性を証明する原価計算の一例も示されている。(清水 矢田 悠)

## 6-552. 平衡三相負荷における突極発電機の電圧高調波—I

David Ginsberg & Alois L. Jokl: Voltage Harmonics of Salient-Pole Generators Under Balanced 3-Phase Loads-I. [Pwr Apparatus and Systems, No. 46, Feb., 1960, p. 1573~1580]

この論文では、平衡三相負荷における一様および非一様ギャップを持つ突極発電機の出力電圧波形中の高調波分の計算式が示されている。計算式に用いられる係数は11次調波まで曲線の形で示されている。曲線の誘導および式の実験的証明は、本論文の第2部に含まれる予定である。

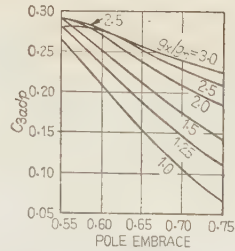
本論文の目的は、平衡三相負荷における発電機の全高調波を予想する一般的な分析方法を示すことにあり、スロットおよび飽和の影響は無視している。

直流磁界による無負荷磁束分布を  $C_n$  とすれば、比  $C_n/C_1$  は1本のスキューしてない電機子導体に発生する無負荷電圧波形中の単位  $n$  次調波成分を示す。基本周波数の負荷電流が流れた場合の磁束分布を  $C_{na}$  とすれば、比  $C_{na}/C_1$  は電機子反作用により生ずる単位  $n$  次調波成分を示す。この合成された  $n$  次調波を決定するため、電機子反作用は直軸分  $C_{nad}$  と横軸分  $C_{naq}$  とに分けられる。

磁気飽和は無視されているので、直軸成分は直流磁界と直軸反作用との和であり、横軸成分は横軸反作用のみである。電機子反作用による磁束分布係数  $C_{nad}$  と  $C_{naq}$  は、それぞれ磁極内部に働く  $C_{nadi}$  と  $C_{naqi}$  および磁極間に働く  $C_{nadi}$  と  $C_{naqi}$  とに分けられる。

ここで  $C_{nadp}$  および  $C_{naqp}$  は極弧極間隔の比および最大ギャップ  $g_x$  と最小ギャップ  $g_n$  との比  $g_x/g_n$  の関数として与えられ、一様ギャップに対する  $C_{nadi}$  は極弧極間隔の比および磁極ピッチ  $\tau_r$  と  $g_x$  との比  $\tau_r/g_x$  の関数として与えられ、 $C_{naqi}$  は極弧極間隔の比と  $\tau_r/g_x \cos(\pi/p)$  の関数として与えられる。(  $p$  は極数) ギャップが一様でないものについては、磁極間の係数は  $g_x/g_n$  で割らねばならない。本論文ではこれらそれぞれについて、3, 5, 7, 9, 11 次調波について、第1図のように曲線が示されている。

これらの係数を付録に示された(1)~(4)式に代入することにより、単位  $n$  次調波電圧成分  $h_n$  が得られ



第1図  
直軸電機子反作用  
による第3次  
調波成分  
(磁界内部)

る。 $h_n$  を(5)~(8)式に代入することにより、単位出力電圧波形  $H_n$  が得られ、実際の線路中性点間の電圧波形は  $H_n$  に基本分布係数、スキュー係数などを乗じなければならない。

本論文で示された高調波の計算方法は、飽和や製造過程の寛容度、定格値からの負荷電流および力率のずれ、波形測定の失敗、わずかな負荷の不平衡のように不確定な高調波分などによる不正確さにくらべれば、設計に使用するには充分正確であると述べている。

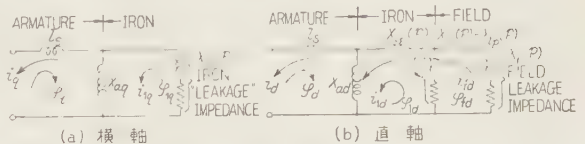
(井手, 埴田 明)

## 6-553. 塊状回転子機械の解析 [I, II]

A. J. Wood: An Analysis of Solid Rotor Machines, Part I, II, [Pwr Apparatus and Syst., No. 46, Feb., 1960, p. 1657~1673]

タービン発電機のような塊状回転子より構成される回転機において、回転子鉄心のうず電流がその等価回路のインピーダンスにどのような影響をおよぼすかを解析している。

まず同期機の磁束鎖交方程式を用いて第1図のような直軸および横軸の等価回路が描ける。回転子鉄心のうず電流の影響を漏れインピーダンス  $X_{il}$  として表わし、まわりの漏れインピーダンスを  $X_{lp}$  とする。これらのインピーダンスは停止より同期速度のすべての周波数に適用されるよう



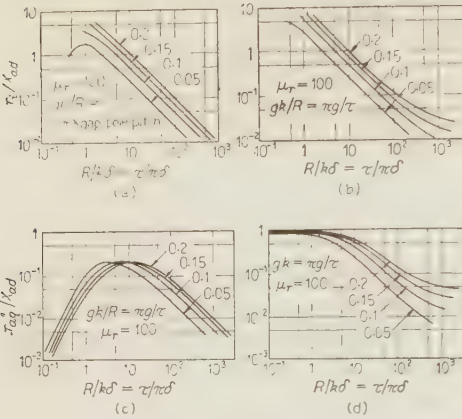
第1図

$p = d/dt = j s \omega_0$  ( $s$ : 速度の単位法表示) の関数として表わされる。 $X_{il}$  を  $X_{ad}$  の比として表わすと

$$\frac{X_{il}(j s \omega_0)}{X_{ad}} = \frac{\sinh a g \cosh a g}{q'} (1 + q' \tanh a g)$$

$$\mu_r q' = [1 + j 2(\tau/\pi \delta)^2]^{1/2}$$

ここに、 $a = \pi/\tau$ ,  $g$ : ギャップの長さ,  $\mu_r$ : 回転子鉄心透磁率,  $\delta$ : 磁束侵入深さ。各種インピーダンスは、 $ag/\tau$ (ギャップ/極間隔),  $R/k\delta$ (極間隔/侵入の深



第 2 図

さ),  $X_f/X_{ad}$ (界磁漏れインピーダンス/ギャップインダクタンス) の関数として表わすことができる。空気冷却機から内部冷却機も含めて,  $aq$  の値は 0.05~0.2,  $X_f/X_{ad}$  の値は 0.04~0.11 の範囲にある。 $\mu_r$  の値は多くの例より 100 が適当である。第 2 図にこれらのインピーダンスを示す。

解析の結果および各種インピーダンスはかなり広く利用することができる。すなわちすべりトルク曲線, 停止インピーダンスおよびトルク, 逆相インピーダンス, 動揺時の同期化トルクおよび制動トルクの計算などである。なお Part II においては, 回転子の曲率の問題をとり上げ, それが Part I で述べたインピーダンスにどのような影響を与えるかを解析している。それによると, 極間隔/回転子電流侵入深さが非常に小さなものを除いてほとんどの機械では, 曲率の影響は無視してさしつかえないと述べている。

(清水, 高橋 満)

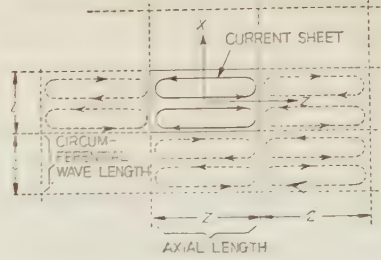
### 6-554. 塊状回転子機械の解析 [III, IV]

A. J. Wood & C. Concordia: An Analysis of Solid Rotor Machines, Part III, IV. [Pwr Apparatus and Syst., No. 47, April, 1960 p. 21~31]

[Part III] Part I, II では軸方向長さを無限として解析したが, これを有限長とした場合 Part I で述べたインピーダンスがどのように変化するかを示している。軸長を  $Z$ , 回転子半径を  $R$ , 極対数を  $k$  とすると  $\gamma = \frac{\pi R}{kZ}$  の値によって前記インピーダンスが補正されなければならない。たとえば  $X_{il}$  の値は次のように表わされる。

$$\frac{X_{il}(js\omega_0)}{X_{ad}} = \frac{\sinh \lambda_1 g \cdot \cosh \lambda_1 g}{q_1^*} (1 + q_1^* \tanh \lambda_1 g)$$

$$\lambda_1 = \frac{k}{R} \sqrt{1 + \gamma^2}, \quad q_1^* = \frac{1}{\mu_r} \sqrt{1 + j2 \left( \frac{1}{\lambda_1 \delta} \right)^2}$$



第 1 図

解析の方法として, 軸方向に同一の軸長  $Z$  の機械が無限に存在すると仮定し, 各機において電流シートを考えると, 第 1 図のように電流分布になるから, フーリエ級数を用いて実際に必要な部分の電流分布を算出するという巧みな方法を用いている。かようにして得られたインピーダンスは  $\lambda$  が通常のタービン発電機では 0.5 以下であるので, この場合には有限軸長の影響は無視してさしつかえない。ただ小容量のタービン発電機では考慮しなくてはならない。

[Part IV] いままでは線形回路 ( $\mu_r$  = 一定) として取り扱ったが, ここでは非線形回路すなわち回転子鉄心のヒステリシス特性を理想的角形として, インピーダンスにおよぼす影響を解析している。結果は, 等価回路の回転子抵抗成分は線形のものより 70% も大きい, リアクティブ成分はほとんど変わらない。また飽和した鉄心は, 線形の場合与えられる  $45^\circ$  が  $26.6^\circ$  のインピーダンス角度になることがわかる。侵入深さは

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{s\omega\sigma B_m H_m}}$$

で与えられる。 $R/k\delta \gg 1$  のような高周波の場合にこの本文の式が有効で,  $R/k\delta < 1$  の場合には Part I の式が実際の動作状態に適合する。 $R/k\delta = 1$  では両者の計算が一致するよう  $\mu_r$  を選定し, その  $\mu_r$  を基準として線形回路の計算が行われるが, その  $\mu_r$  の値が約 100 であることが, Part I で  $\mu_r = 100$  とした理由である。Part I~IV により, タービン発電機の各種特性を精確に表わすことが可能になった。

(清水, 高橋 満)

### 6-555. デジタル計算機による誘導機設計の解析

C. G. Veinott: Synthesis of Induction Motor Designs on a Digital Computer. [Pwr Apparatus and Syst., No. 47, April, 1960 p. 12~18]

最近計算機は種々の分野で利用されているが, 回転機的设计過程も完全に一変させた。しかもより精度の高い計算機が出てくるにつれて, より正確な計算が行われ, それを通じてデジタル計算機自体やこれを利用した設計過程およびこれをいかに利用するかについ



ての多くの知識を得た。

設計の場合の手順としては、在来設計の手順と同じであるが、いままでは時間的に制限されていたために CUT, AND, TRY 方式を採用しなければならなくなったが、計算機を利用すれば、連続的なくり返しを行って最適の設計を行うことができる。計算機の手順の目的は最上の結果をもっとも経済的に得ることにおかなければならない。すべての寸法や材料を機械で決めてしまうような手順を作ることもできるが、非常にコスト高となって不適当である。このため、ここに述べる手順では、固定子鉄心や回転子鉄心は知られているものと考え、これと最小積厚とを与えて要求される特性を満足する最適の巻線仕様を決める方法を述べて、 $\square$

まず入力として与えられるものは、出力、電圧、相、周波数、極数、回転数などだが、それ以外にも起動電流、停動トルクと与えられる。巻線の種類、絶縁の種類、結線の種類、並列数、ピッチなどは指定がなければ適当なものが選ばれるようになっており、温度上昇も指定がなければ  $75^{\circ}\text{C}$  として計算される。

計算機は第 1 図のような方法で最良の巻線仕様を決めることができる。巻線から生ずる磁束と必要磁束の

誤差が 2% 以下なら、停動トルクの誤差は 4% 以下におさまるので、その巻線はそのまま用いられるが、そうでなければ計算は他の巻線でやりなおされる。全負荷トルク、停動トルク p.f. EFF などについても一つ一つ点検され、要求が満足されてなければ前にもどって計算しなおす仕組になっている。また、なるべく計算を単純化するために回路計算は単位あたりの回路定数で計算される。

以上がその大略であるが、これらの計算の基礎となる製品の特性や鉄心寸法を決めるのは人間であり、機械は単にいままで述べた限度内で最適の巻線仕様を決め、その特性を計算するだけである。

なおこの計算機は Alwac III の改良形であるが、このほかシャフトやベアリングの荷重計算などの機械計算も行いうる。  
(清水、山口 保)

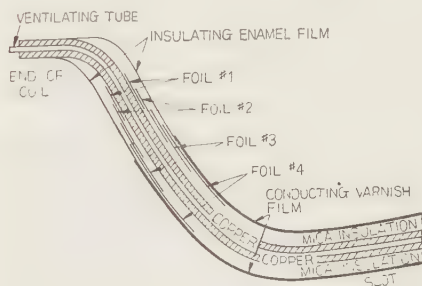
## 6-556. 高圧回転機に対する 進歩したコロナ抑制法

V. E. Manni & W. Schneider: An Improved Method of Corona Suppression for High-Voltage Rotating Machines. [Pwr Apparatus and Syst., No. 47, April, 1960, p. 49~52]

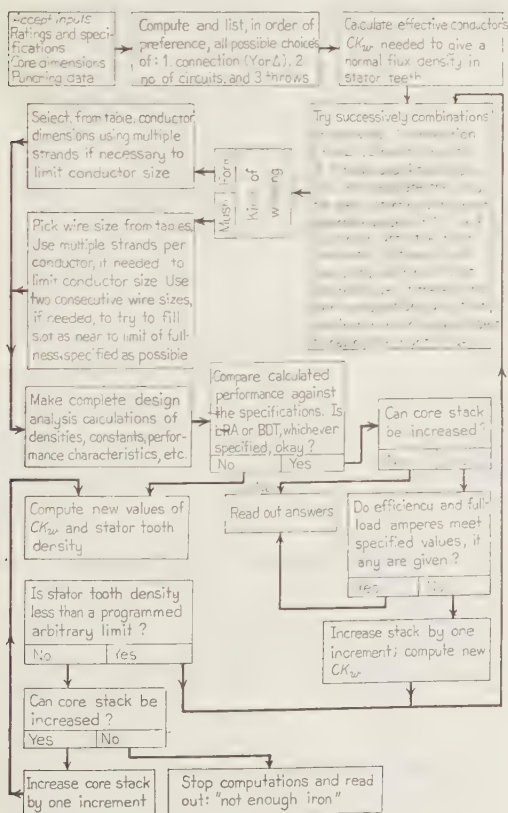
長い間、回転機におけるコイル表面の抵抗フィルムがコロナ防止用として使用されてきたが、さらに高圧の機械が出現するようになって、この方法では不十分なることがわかり、新しい方法が考案された。本紙においてはこの新しいコロナ防止法について述べてある。

この方法はコイルの絶縁物の中に、長さの異なる金属はくをいく層か巻き込むことによって、直列および並列にコンデンサ群を構成して、コイル端部において鉄心と導体との中間に十分に長い中間の電位帯を形成する。したがって対応するコイル表面間の電位差は減少し、コロナの発生を抑制する。

第 1 図に、4 枚の金属はくを使用した場合の代表例を示している。1/2 mil の金属はくに 1 mil の絶縁物を裏打ちしたテープを適当な長さに重ね巻きし、はくの間は充分強い絶縁強度をたもたせるために良質のマイカテープを半重ね巻きしてある。



第 1 図



第 1 図

24 kV にて運転する場合に、この設計の良否を調べるために、研究所においてコナテストが行われたが、その結果相電圧の 165% の電圧を印加したときにこのフニソフィルムに端部にコロナが見られ、さらに 360% の電圧印加によってそう入されている一番外側の金属層の上部にコロナリングが見られた。次に発電機におけるコイルの状態を模擬してコイルを 3/8 in の間隔に配置させて電圧を印加した場合には 470% の電圧を印加した場合においても、両方のコイルにもまたコイル間にもコロナは現われなかった。

絶縁物の寿命を検査するために、室温および 100°C において、引張り試験が行われたが、抗張力は従来の普通のコイルとかわらなかった。

また 1 min および 1 週間のステップバイステップの耐圧試験 および 1,000 h の過電圧試験が何回もくり返えされたが、絶縁物として別に悪いところは見られなかった。

製作直後および 140°C にて 4 週間さらしたものについて  $\tan \delta$  を測定した結果、製作直後には  $\tan \delta$  の値ははくのあるものもないものほとんど同じであったが、さらしたのちにおいては、はくのあるもののほうがわずかによいことがわかった。

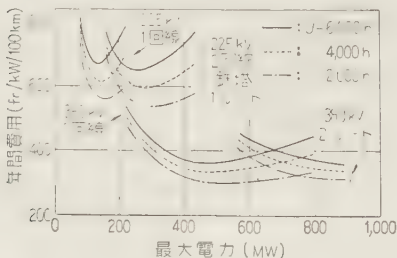
結論として、発電機の電圧が将来高くなった場合、コロナ抑制のためのこの方法は、効果的な信頼性のあるものと思われる。(山 田)

### 7-557. フランスの 400 kV 送電網、構成と将来の展望

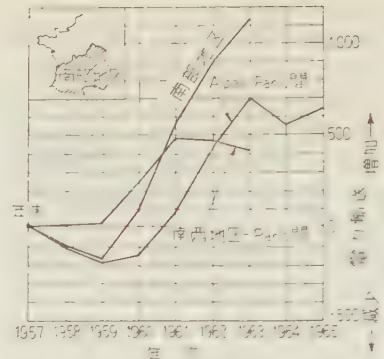
F. Cahen: Le réseau 400 kV français, structure, perspectives d'avenir. [Bull. Soc. Franc. Elect., 8e Série, Tome 1, N°1, Jan., 1960, p. 11~19]

フランスの 400 kV 送電は、1958 年 3 月、Génisiat—Creney—Plessis-Gassot 区間が運転を開始した。225 kV 送電(最高回路電圧 245 kV)と 380 kV 送電(最高回路電圧 420 kV)との経済比較を行うと、それぞれ 592 mm<sup>2</sup> 単導体、592 mm<sup>2</sup>×2 復導体で、こう長 400 km として求めると、第 1 図のようになる。ただし、これには送受電端の変圧器を含まない。

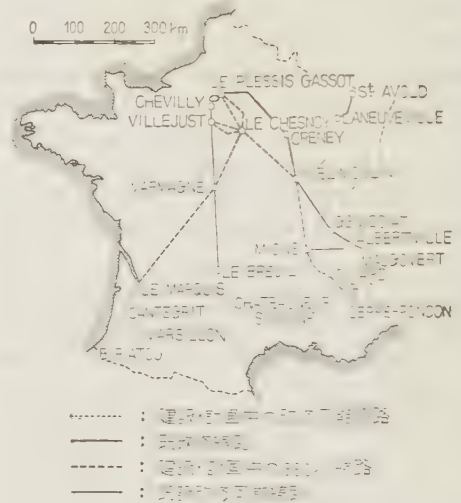
電力潮流の予想は、第 2 図に示すように、これに応



第 1 図



第 2 図



第 3 図

ずる送電網計画は第 3 図に示す。

第 1 図から、最大送電電力が、1 回線で、160~180 MW をこえると、380 kV が有利となる。2 回線を必要とするときは、その限界は、320~360 MW となる。

これらの送電線は 225~380 kV の改修、あるいは 380 kV 送電線として建設され、ある期間 225 kV として運転するものもある。

さらに、380~225 kV 連系用オートトランスの単位容量について、経済比較を行い、Plessis-Gassot では 100 MVA 単相器 7 台、(1 台予備) Marquis, Mions, Villejust では 250 MVA 三相器を、それぞれ 2, 1, 2 台を設置し、予備は、Villejust に 1 台、Mions に 1 台おくことに決定した。この期の終りには、225~380 kV オートトランスの全設備容量は、3,450 MVA となる。

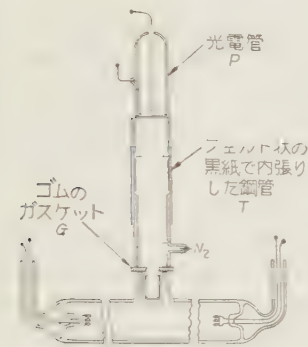
〔訳者注〕第 3 図は明らかな誤りがあったので訂正した。

(鶴 見)

### 8・558. 低圧希有ガス-水銀灯の 1,850, 2,537 Å 線強度

B. T. Barnes: Intensities of  $\lambda$  1850 and  $\lambda$  2537 in Low-Pressure Mercury Vapor Lamps with Rare Gas Present. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 5, May, 1960, p. 852~854]

第1図のような装置によって低圧希有ガスと水銀の混合放電灯における 1,850, 2,537 Å 線の強度を測定した。光電管の陰極は 1,850 に対してはテルル, 2,537 に対してはカドミウム (フィルタ併用) を用い, それ



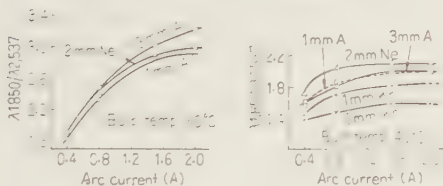
第1図 強度測定装置

ぞれの感度校正はモノクロメータと標準光源 (Ne 2mmHg 封入の低圧水銀灯) によって行った。

結果は本文に表示されており, 封入気体の圧力および原子量の減少とともに 2,537 の強度は増加し, 1,850 もそれを上回る速さで増加する。1,850, 2,537 両

線の強度比を第2図に示してある。

この結果を見ると電流および管温度の上昇とともに



(縦軸の尺度は目盛数字を 0.1 倍する)

第2図

(すなわち電子温度の低下とともに) 1,850 の割合が増加する傾向がある。この一見逆の傾向は  $6^3P-6^1P_1$  間の多重励起過程を考慮することによって説明できる。

(中村, 山本 学)

### 9・559. 踏切用列車速度選別装置

Paul J. O'Halloran: CNR Uses Speed Selection for Gates. [Railway Signaling and Communications, Vol. 53, No. 5, May, 1960, p. 19~22]

カナダ国鉄のトロントーモントリオールを結ぶ幹線にある Scarboro 駅を挟んで, 2本の幹線道路が鉄道と平面交差している。この通過列車数は上り下りで 70 列車あるが, 列車速度は貨物列車が時速 30 mile 以下, 旅客列車はモントリオール方向が 60 mile, トロ

ント方向が 80 mile である。このため踏切の前方一定地点に列車が到達したときに踏切をしゃ断する従来の制御方法では, 低速列車に対しては必要以上に長時間踏切をしゃ断することになり, 道路輸送の能率を低下させることになる。そこで踏切しゃ断時分を一定にするため軌道回

路と時素継電器を使用した列車速度選別装置が設置された。

本装置は2踏切の制御を総括しているが, 1踏切についての設備および動作機構は次のとおりである。

列車進行方向の手前から AT, BT, CT の3軌道回路があり, AT で列車速度を時速 30 mile 以上と以下の2群に選別し, その結果により高速列車に対しては BT で, 低速列車に対しては CT で踏切しゃ断を開始させる。

時間選別回路は図示のように, 軌道継電器 ATR, BTR のほかに, 緩動時素継電器 (ETER), 2個の線条継電器 (ETEXR, ETESR) により構成される。

列車が踏切に接近して AT を踏むと ATR が落下し, BTR の上接点と ETER の落下接点により ETEXR を上させ時素継電器 ETER を励磁する。この動作時素は AT の軌道長 1,100 ft に合わせて約 25 s としてある。列車が BT に到達する以前に 25 s 経過して ETER が動作を完了すると, (30 mile/h 以下の場合) ETER の上接点により ETESR が上し, BTR の落下接点と自己接点により保持され, 列車が CT を踏むまでは踏切のしゃ断は開始されない。30 mile/h の場合は ETER が上する前に BT が踏まれ, BTR の落下により ETEXR が落下し, ETER を復帰させ, ETESR は動作しないので列車が BT に達したとき, 踏切がしゃ断される。

(武藤, 渡部京一)

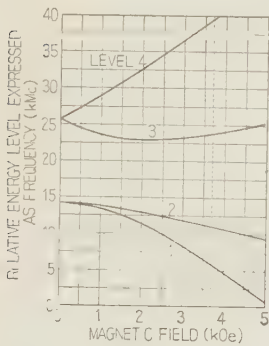
### 10・560. 原子による増幅

M. Brotherton: Amplifying with Atoms. [Bell Lab. Record, Vol. 38, No. 5, May, 1960, p. 163~167]

通信科学は種々の障害に対して大きな進歩をしたが, その一つとしてメーザによる増幅器の雑音の軽減がある。これによってマイクロ波による衛星通信や, いままでより 100 倍も弱い電波を検出できるようになった。メーザの増幅原理はちょっといままでの概念と異なるので, わかりやすく説明する。ベル研究所ではルビーを使用した固体メーザで, 帯域幅 25 Mc, 利得



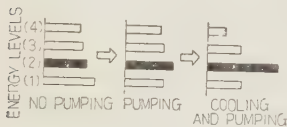
30 dB を得ている。ルビーはアルミニウム、酸素、クロームで構成されており、クロームはこの構成のために原子軌道の一つに三つの迷っている電子 (Maverick electron) が有るようになり、四つのエネルギーレベルを持つようになる。(第1図参照、電磁波はルビーの中では Photon と同じように動作する。まず、信号波の3倍の周波数で励振すると第2図のレベル1にある原子は、レベル3に飛び上がり、自然の平衡でレベル2に降りる。すなわちレベル2の原子が多くなる、これに信号波を与えるとレベル2の原子は信号波にエネルギーを与えてレベル1に降りる。このようにして増幅されるのであるが、原子が新しいのがくるより早くレベル2から去ると増幅しない。そこでレベル2に集まる原子を多くするために、絶対0°付近まで冷却してやる必要がある。ルビーの場合異なった原子は少し異なったエネルギーレベルを持っているので、広帯域性がある。



与えられた磁界でクリスタルは 5 kMc に同調している。右の点線はルビーメーザの代表的動作例を示す。

第1図 与えられた磁界に対するルビー磁石の相対エネルギーレベル

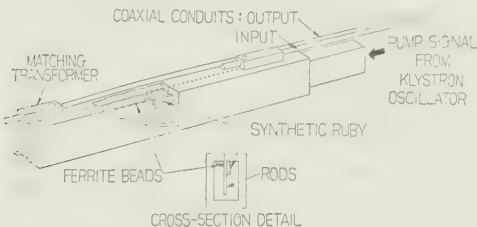
エネルギーを与えてレベル1に降りる。このようにして増幅されるのであるが、原子が新しいのがくるより早くレベル2から去ると増幅しない。そこでレベル2に集まる原子を多くするために、絶対0°付近まで冷却してやる必要がある。ルビーの場合異なった原子は少し異なったエネルギーレベルを持っている



第2図 ルビーメーザの原子のエネルギー分布に対する“Pump”の影響

るので、広帯域性がある。

アンモニヤを用いたガスメーザは 24 kMc の同調周波数のみを持っているが、磁界も励振も不要で簡単であり、この周波数の不変性を利用して、時間の非常に正確な測定に用いられる。両メーザとも通常の電子管



磁界と冷却部屋をのぞいてある。棒はルビーとよく関係するように信号を運ぶ。フェライト球はインレータの効果を持ち、空洞内の有害な反射信号を妨げる。変換器はクリスタルロードのインピーダンスと空洞のインピーダンスを整合させる。

第3図 固体メーザの構成図

増幅器における雑音源を持っていない。すなわち電子を出す加熱陰極、電子の衝突する各電極がない、そのうえ、メーザクリスタルの原子の熱的運動による雑音は、絶対0°では問題にならなくなる。これによってテレビジョン伝送、100チャンネルの多重電話の衛星通信の可能性が生ずる。(沢田、中村親市)

## 10-561. 印刷電信自動交換装置

E. R. Robinson: Automation in Teletype-writer Switching. [Bell Lab. Record, Vol. 38, No. 5, May, 1960, p. 182~186]

82 B1 方式印刷電信自動中継装置はアメリカ海軍に納入され全世界的な通信網を形成し、海軍の活動を支えている。中継方式はテープ蓄積式局内転送方式で通信回線の入出力端は単独、(1回線に1台の印字受信さん孔機を専用)集信(数回線で受信機を共用)の混合方式である。

回線容量は入線側 100、出線側 220 で、軍用として特に設置および撤収工事の敏速、障害機器発生の場合交換の容易性ををはかり、交換装置本体は、入線筐体(入力2、受信-送信機2、ディレクタ1をもつ)と出線筐体(出力2、常用受信-送信機3、至急報用受信-送信機1をもつ)の2種類の筐体で構成し、おのこの電源を内蔵して相互にプラグコードで連結するいわゆるブロック組立方式を採用している。

### 主要機能

(1) 線路送信速度は 60, 75, 100, word/min に切り換え使用が可能で、局内転送速度は 200 word/min である。

(2) 至急報扱い、多あて先通信は自動的に処理される。

(3) 各回線ごとに障害再送に備えてモニタの印字受信さん孔機が用意されている。

(4) 電けんにより閉そくした回線への着信電文、あて先不明の着信電文は自動的に障害代行席の受信-送信機に転送される。

(5) さん孔テープは特に長尺巻(3,000 ft)のものが使用され、加熱形のプラスチック接着剤により、突き合わせ接続が可能であるので、通信を断絶することなく、容易にテープ取り換えが可能である。

(6) 各種機能テスト用の試験装置が付加装置として用意されている。(豊田、森 崇)

## 10-562. 短距離マイクロ波方式の試作

C. L. Ruthroff & L. C. Tillotson: An Experimental "Short-Hop" Microwave System. [Bell Lab. Record, Vol. 38, No. 6, June, 1960, p. 202~206]

新しい部品の進歩がいろいろあり、簡易な新マイクロ中継方式を考える段階にきているとして、そのねら

いと Holmdel のベル研究所で 1957 年 12 月から行っている小束電話の 2 mile 折り返し 2 区間の実験回線の様子と、さらに将来の方向について述べている。

経済性に最重点をおき、中継局はよい道路と信頼性のある商用電源の近くにおく。区間は 5~10 mile, 空中線の高さは低くし柱または塔につける。敷地は 10 ft 平方ですべてが足りる。柱はできれば見透しがきく既設の電話柱を使用する。新しい部品を使用し、そのおもなものはフェライト単向管 [Bell. Lab. Record, (1955-10), (1958-4)], サークュレータ [Bell Lab.

Record (1957-8)] その他のフェライト部品、受信部ではディスクリミネータとリミッタの改良, [Bell Syst. tech. J. (1958-7)], このためベースバンド増幅器は不要になった。IF には Diffused base トランジスタ [Bell Lab. Record (1958-6)] を使用, 中継機の消費電力は 35 W. (送信にクライストロンを使用) 電源は電池の連続フロートである。次の段階で所要電力が大きく減少できればガス燃焼熱電変換器, [Bell Lab. Record (1957-10)] さらに太陽電池 [Bell Lab. Record (1955-7)] が使用できる。

実験方式のベースバンドは 2Mc で, 28 個月間の連続試験で信号対雑音, 信号対漏話の特性は数デシベル以内の変化である。保守はクライストロンを 10~15 電力で取り換え, 蓄電池の水の補給を年 2 回行う。充電器のトランジスタを取り換えただけできわめて簡単である。鉄塔は特に研究して設計したもので, (第 1 図参照) 建設は簡単で, ホーンレフレクタ (ビーム幅  $1\frac{1}{4}^\circ$ ) をつけ暴風のときも伝送損は少ない。導波管損を非常に少なくした。 (0.65 dB/100 ft, 11.2 kMc) これは 2 in のアルミパイプで底に排水孔をつけ



第 1 図

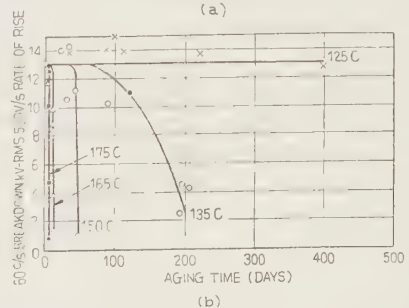
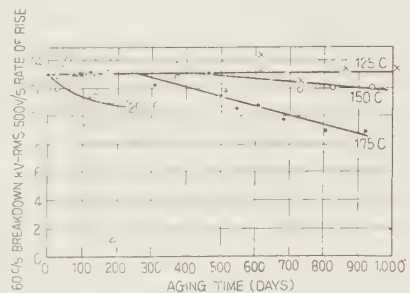
はたまらない。中継装置の系統を第 2 図に示す。

将来は割当を得られればもっと高い周波数帯でも可能であり, 能率のよい経済的な方式への可能性を探究中である。最近研究中の新マイクロ電源は高能率の後進波管で全直流入力は 2 W で 11 kMc が 100 mW の出力になる予定である。 (沢田, 高田正美)

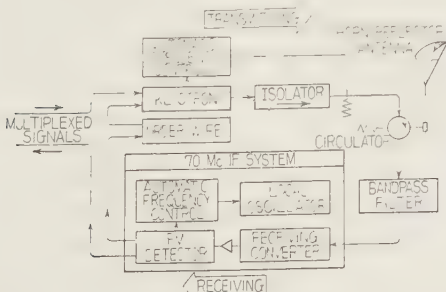
### 11-563. 種々の電線焼付け材料の 変圧器油中での劣化特性 に影響する因子

G. F. Lipsey & P. W. Juneau, Jr.: Factors Affecting the Aging Characteristics of Various Wire Coating Materials in Transformer Oil. [Pwr Apparatus and Syst., No. 47, April, 1960, p. 73~77]

銅線上の焼付け皮膜絶縁の劣化特性は, 従来空気中の場合について研究されてきた。油入装置のような環境条件の場合の劣化状況はいかようであるかの研究はきわめて貧弱である。かかる絶縁系が空中あるいはシールのわるい油浸漬条件では高温にて絶縁物の熱劣化と同時に酸化劣化を生じ, この際酸化生成物がみられる。シールの良好な系統では酸化の効果はきわめて小さくなる。この報告は皮膜焼付け丸線の促進劣化をシールした油変圧器に見出されると同様の環境内での熱劣化データを記す。促進劣化は使用温度よりずっと高い温度で試料を劣化する。試料はバイレックスチューブ内に 0.0508 in の直径の丸線にエナメルを焼付けたものより, 線対と変圧器油, またこれにさらに絶縁紙を



(a) 油のみの場合, (b) 乾紙 (0.1% 水分) を添加  
第 1 図 ホルメックス線の変圧器油中劣化での破壊電圧の変化 (油温 105°C)



第 2 図

入れて劣化をし、またいずれの場合も空気量はほぼ同じになるように調整している。

まずホルメックスについて詳細な実験結果を述べているが、第1図に示すように油のみの場合に比べ、絶縁紙を入れた場合の劣化はきわめて著しい。これは絶縁紙の分解生成物が関係するものとしている。なお劣化の判定には図からわかるように破壊電圧を使用している。しかし125, 150, 175, 200°C にわたって試験した結果

$$\log(\text{寿命})(\text{時間}) = A + B/T$$

$T$ : 絶対温度,  $A, B$ : 定数

のようなアレニウスの関係が見られる。さらに紙の水分をもいろいろにかえて、加熱温度との間の関係を検討している。

そのほかホルメックスとテレフタレートポリエステル, ユリアホルムアルデヒドエポキシ, ポリエステルポルウレタン, アクリル樹脂などと促進劣化試験結果を比較検討し、ホルメックスはきわめてすぐれていること、また化学的に処理した熱的に安定なクラフト紙, すなわちシアノエチレート化したクラフト紙の熱劣化は普通のクラフト紙の6倍ほどの寿命があると述べている。

(川 井)

## 11-564. 高電圧材料

K. Potthoff: Isolierstoffe in der Hochspannungstechnik. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.) B, 12. Jahrg., Heft 74, April, 1960, S.158~161]

電気工学の種々なる分野, すなわち高周波工学, 電熱工学および高電圧工学などは絶縁および絶縁材料に多くの問題を投げかけてきた。本稿は高圧材料を取り扱い, これを化学構造的に取り扱うのは避け, 重要な構成材料に関し材料選択の基準を見い出すべく努力し, 新しい知識, 注目に値する性質を示す。

絶縁およびその特性に対する要求 高電圧工学においては積層絶縁材を必要とする。特に変圧器油における冷却, キャストレジンにおける形造など他の目的を兼ねている場合はこの積層絶縁物はよく使われる。特に電気的目的だけのものでは薄い積層物を使えばことは足りる。

積層絶縁物ではその接触面にわずかも部分破壊が起ると, 弱い外力や腐食性の媒体の作用下で機械的電氣的全破壊へと進行する。またオキサライド・セラミックおよびエナメルなどの機械的特性は水分の存在によって改善されるが, この水分子が分子のディメンジョンで電界中へ吸い込まれ, 部分的なオーバストレスを生ずる。

2および3種の物質からなる絶縁系 半径方向にだけ電界成分があり, その終端においてのみ複雑な電界成分を持つようなケーブル, プッシング, 発電機などの絶縁に見られるように“homogeneous inhomogeneous”

を持った複合絶縁物, すなわち積層絶縁物を使用すると他のものは使いたなくなる。高圧ケーブルにおいては紙および油からなる絶縁を用いるが, 現在ケーブル紙はコンデンサ紙と同じで純粋なソーダセルローズ紙である。その密度は0.6~1.45 誘電率は紙が5~6, 油が2~3である。一方ケーブルは静電容量が小さいことが望まれるので, 密度が小さい紙がよいように思われるが, これには多くの反論がある。また油について遷状二重結合を有する芳香族系炭化水素が多い油は, コロナ放電によって生じた水分子を化学的に再結合するから適当であるとされていたが, 新しいケーブル研究によって教えられるように, この意見は意味を失ってゆくようである。

絶縁油 変圧器油は呼吸作用のため, 酸化吸湿する。また石油系成分は少ないが, 炭化水素の種類は多い。今日, 芳香族系, ナフテン系, パラフィン系炭化水素の含有比はV.D.A.によれば知ることができる。一方, 油をエージングすると酸性構造物中でよい特性が得られる。

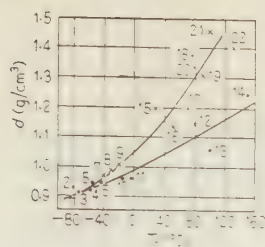
変圧器および変流器中の固体絶縁物 おもにボイドの少ないプレスボードが用いられるが, 最近キャストレジンが使われている。(川井, 菊地幸司)

## 11-565. 重合物の物理的性質の相互関係について

Н. И. Воробьев: О Взаимозависимости физических свойств полимеров. [Электричество, No. 3, 1960, стр. 75~76]

重合物の性質を物理的研究の見地から求めようとして提案された問題は, これらの性質の相互関係を確立するまで続けて行われた。この問題は結晶した材料に対する解決であった。イオン結晶の性質に対する影響を解決しようとする提案がなされるならば, 結晶格子のエネルギーの大きさの問題に遭遇する。エネルギーの増大に際し, 結晶格子は溶解温度, 機械的ならびに電氣的特性, および他の結晶的性質を高め, 熱膨張, 導電率, 誘電正接を減少する。有機高分子化合物の問題を明らかにするために, 物理的諸性質の相互関係はすでに古くから研究されている。ある種の研究で重合物のある物理的性質について, かかる関係を確立しようとする研究がある。現在のところ, かかる問題は重合物について一般に充分注意が向けられていなかった。Boyerは重合物のガラス化の温度と分子間力との関係を明らかにした。分子間力(結合エネルギー)を高めるとガラス化温度が高まり, その際直線的関係でうまくあらわせることを観察した。(第1図) 温度によっては合成物は結晶相を, また無定形相のガラス化を呈すること, したがって分子間力の大きさが関係する。これはグラフによって二つの直線の形であらわされる。第1の直線は対称合成物に対応し, 第2の直線は





1: ポリブタジエン, 2: ポリエチレン, 3: ポリイソブチレンと天然ゴム, 4: スチロール (10%) を含有するゴム, 5: ニトリル (18%) ゴム, 6: CKC-30, 7: CKH-26, 8: CKH-40, 9: ニトリル (40%) ゴム (GR-A), 10: ポリビニールエチルエーテル, 11: CKC-50, 12: エポナイト, 13: ポリスチロール, 14: ポリビニールカルバミド, 15:

16: ビニールアセチート, 17: ポリビニールブチラール, 18: ポリメチルメタクリレート, 19: ポリ塩化ビニール, 20: ポリエチレンテレフタレート, 21: ポリエチレンテレフタレート (軟質), 22: ポリ二塩化スチロール。

第 1 図 重合密度とガラス転移温度  $T_g$  の関係

第 1 表 分子間力の増加に伴う重合時の遅延時間の変化

増加するもの	増加するもの	増加するもの	減少するもの
ガラス転移温度	重合時の遅延時間	重合率	重合速度
結晶性の重合体	重合率	重合速度	重合時の遅延時間
弾性率	重合率	重合速度	重合時の遅延時間
弾性率	重合率	重合速度	重合時の遅延時間

非対称な構造になっている。重合物の研究は二つのグループに分れてきて、下の曲線は弱い極性高分子に対応するものである。酸素、塩素および類似の重い原子を組成分子に導入すると、重合物の密度は増大し、同時に極性も増大する。(上の曲線) 重合物のガラス化温度の上昇につれて弾性率は急激に増大する。この弾性率の上昇はガラス化温度  $-10 \sim -20^\circ\text{C}$  に特に著しい。(川井)

## 11-566. 強磁性薄膜

A.C. Moore: Thin Ferromagnetic Films.

[Trans Inst. Radio Engrs, Vol. CP-7, March, 1960, p. 3~14]

ディジタル計算機のうちで大きな役割をなすものは高速度の記憶素子である。この素子に要求される特性は、(1) 保持するに電力を必要としないこと、(2) はっきりした状態があること、(3) 素子がどの状態にあるか短時間に検出できること、(4) 一つの状態からもう一つの状態に短時間にスイッチできること、(5) X-Y座標に組むために相互作用のないはっきりした境界が

あることである。また費用の問題は100万ビット以上にする場合には重要となる。このような特性の要求を満たすため角形ヒステリシス特性をもつ磁性材料が使用される。この特性を支配する物理的基礎事項であるスイッチ速度をきめる因子、薄膜の磁化過程および磁気異方性の原因となる諸因子について詳しく解説がなされている。この論文の後半には Royal Radar Esta



第 1 図 パーマロイ薄膜の選択スイッチング

blishment (イギリス) での磁性薄膜の研究体制と薄膜の製作および諸性質についての仕事が紹介されている。そこでは薄膜の製造方法、磁気測定、磁化速度の測定、磁区模様、化学分析、X線、電子顕微鏡、厚さの測定の項に分け詳細に述べられ、最後に薄膜を記憶素子とした場合の RRE 独特の方法が紹介されている。RRE での研究結果から、もし磁性薄膜が連続的であり、端の効果を除くことができれば、一つの薄膜面内に磁気特性の一樣な多くの素子を得ることは容易であると結論されている。また実験によれば隣合った記憶素子として動作する領域が  $0.5\text{ cm}$  離れていれば相互の作用は起らないことがわかった。この例を磁区模様によって第 1 図に示す。そのほか非破壊読出しのできる記憶素子について新しい構造が考え出された。これは A, B 二つの単軸異方性薄膜からなり、A は B より高い抗磁力をもつ。A は記憶素子として動作する。いま読出しパルスによって低い抗磁力をもつ B が逆転するが、A は逆転しないとすると、パルスが除かれたのち B はもとの磁化方向にもどることになる。記憶は A を逆転させるに充分大きなパルスによって行われる。

(山本)

## 特 許 紹 介

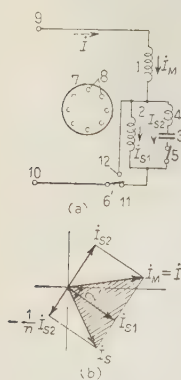
## 121. 単相電動機の起動装置

特許 247100 (特公 昭 33-5380)

発明者 梶谷定之

特許権者 三菱電機

単相電動機の起動電流は配電線の電圧変動の原因となるために、自家電源設備のない一般需用家で単相電動機を使用する場合には、起動電流の最大値を制限している。従来の単相電動機では起動電流を減少させ



第 1 図

ると、起動トルクが急激に減少するため、前記のような制約下で大容量の単相電動機を用いることができなかった。この発明は、その欠点を改良したもので、第 1 図 (a) について説明すると、第 1 補助巻線 2 と起動開閉器 5 と、コンデンサ 3 と第 2 補助巻線 4 とを直列接続したものを並列に接続し、この並列回路に主巻線を直列に接続して起動するもので、そのベクトル図は (b) 図に示すように、主巻線電流  $I_M$  は、第 1 補助巻線電流  $I_{s1}$  と第 2 補助巻線電流  $I_{s2}$  とのベクトル和であり、起動電流  $I$  に等しい。第 1、第 2 補助巻線の有効巻数比を  $n$  とすると、 $I_{s2}$  を第 1 補助巻線側に換算した電流は  $-\frac{1}{n}I_{s2}$  となり、これと  $I_{s1}$  との合成電流  $I_s$  と、主巻線電流  $I_M$  とそれらの相差角を  $\alpha'$  とした  $\sin \alpha'$  との積が起動トルクを表わすもので、斜線を施した面積に比例する。起動波はスイッチ 6 を接点 11 から 12 に切り換えて運転する。このようにして従来のものに比較し、同一起動トルクで起動電流を減少させることができる。

## 122. 回転電機接地故障保護継電装置

特許 254817 (特公 昭 34-4023)

発明者 安藤文郎

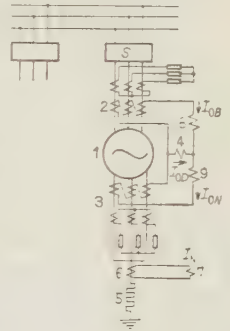
特許権者 東京芝浦電気

回転電機の接地保護として従来第 2 図に示されるように、中性線電流  $I_N$  と母線側および中性点側のそれぞれの零相電流  $I_{0B}$  および  $I_{0N}$  の差電流  $I_{0D}$  とを検出し、比率差動継電器を用いることが知られていたが、検出感度を増せば常時不平衡電流で誤動作する欠点があった。

この発明はその欠点を改良し、上記電流  $I_N$  と  $I_{0D}$

とがともに存在する条件の下で、それら両電流のいずれか小さいほうの電流で付勢され、上記電流  $I_{0B}$  と  $I_{0N}$  とのいずれか小さいほうの電流に応じた抑制を与えるようにしたもので、上記条件は回路素子を用いて得ている。

したがって、外部故障時には上記電流  $I_{0B}$  と  $I_{0N}$  とはともに大きく、従来の装置と同程度の大きい抑制を得て誤動作することなく、内部故障時には上記電流  $I_{0B}$  は小さく電流  $I_{0N}$  は大きくなって、従来の装置では大きい電流  $I_{0N}$  による大きい抑制が働いていたのにくらべ、この発明の装置では、上記電流  $I_{0N}$  と  $I_{0B}$  の小さいほうの電流すなわち電流  $I_{0B}$  による小さい抑制が働き、検出感度は増大される。また、動作力は上記電流  $I_N$  と  $I_{0D}$  とのいずれか小さいほうの電流で得ているので、不平衡電流による誤動作がなく、回転電機の中性点付近の接地故障を正しく検出する継電装置を得ることができた。



第 2 図

## 123. 半導体電気装置の製造方法

特許 263408 (特公 昭 34-9538)

発明者 江崎玲於奈

特許権者 ソニー

高周波用成長形トランジスタに使用する接合単結晶ではベース層の増を薄くする必要があるが、従来の二重添加法、レートグロン法などの方法ではこの幅を  $10\mu$  以下に制御することは困難である。

この発明は不純物の半導体中における拡散係数の差異とその温度依存性を利用して  $10\mu$  以下の任意のベース幅の接合単結晶を得るものであって、アクセプタとドナー不純物を同時に混入溶融させた溶融物中に、あらかじめ作った P 形または N 形半導体単結晶インゴットを浸漬し、これを種として温度制御を行いながら引き上げて、ベース幅が  $10\mu$  以下の接合単結晶を得るものである。

たとえば、Ge 中では P, As, Sb などのドナー不純物は B, Ga などのアクセプタ不純物より拡散係数が大きいから、両者を含む Ge 溶融物に P 形 Ge 種結晶を浸漬して引き上げれば、ドナー不純物が上方に拡散して薄いベース層が形成され、その下方に P 形結晶が成長して PNP 単結晶が得られる。そしてこの場合に





そのため吹きつけ空気は細げき弁 6 で一定量に制限されて空気噴出口 12 から保護ギャップに吹きつけられる。さらに (c) 図は故障回復直後の状態で、故障検出継電器 15 が復旧するため弁 18, 26, 32 は閉じ、弁 17, 25 は開かれ (a) 図の状態に復旧するが、主シリンダ 2 内ではピストン 3 の両側から空気圧を受けるので、ばね 4 によってピストン 3 が主弁座 5 に圧着させられるまで一時的に吹きつけ、空気は多量に噴出口 12 から噴出され、保護ギャップに残る純流を完全に消弧する。

## 127. 交流整流子直巻電動機 速度制御装置

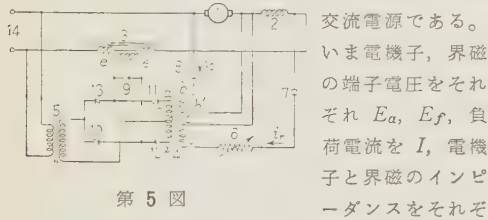
特許 562975 (特公 昭 35-63)

発明者 大原 保

特許権者 日立工機

この発明は交流整流子直巻電動機の世界速度制御に関するもので、指差発電機を用いなくても電源電圧、負荷変動などの影響を受けず、一定速に保持し得るものである。

第 5 図について説明すると、1 は電機子、2 は界磁、3 は可飽和リアクトル、4 はダブラ形磁気増幅器、5 は変圧器、14 は交流電源である。



第 5 図

いま電機子、界磁の端子電圧をそれぞれ  $E_a, E_f$ 、負荷電流を  $I$ 、電機子と界磁のインピーダンスをそれぞれ  $R_a + jX_a, Z_f$ 、回転数を  $N$ 、磁束を  $\phi$  とし  $\alpha, k, K, K', K''$  を定数とし、 $X_a \ll KN, \phi \simeq \frac{1}{K} I'$  とすれば

$$E_a \simeq \phi'(K'R_a + KN) \quad E_f \simeq K''\phi$$

であって磁気増幅器 4 の入力信号の和を  $\Delta n_i$  とすれば

$$\Delta n_i \simeq K(\alpha E_f - E_a) \simeq K\phi(\alpha K'' - K'R_a - KN)$$

$\Delta n_i \rightarrow 0$  の条件を入れると

$$N \rightarrow \frac{\alpha'(K'' - K'R_a)}{K}$$

となり、回転数は電源電圧、負荷電流に無関係な値をとることになる。

## 128. ピエゾ効果を利用するテレビ ジョン用受像装置

特許 252785 (特公 昭 35-409)

発明者 木下幸次郎, 安広輝夫

特許権者 日本放送協会

この発明は第 6 図の実施例に示すようにピエゾ物質の細線よりなる走査線 1 を並行に多数設け、この走査線の終端と次の走査線の始端とを衝撃波に対し走査線

よりはるかに早い伝搬速度の帰線 2 により連結して走査装置を作り、これを第 7 図のように組立てるものである。

すなわち高抵抗物質の極板  $R_1$ 、トランジスタ  $T$ 、高抵抗物質の極板  $R_2$  を介して前記の走査装置  $S$  とけい光板  $L$  を対向させ、けい光板  $L$  の前面に前部透明電極板  $A$ 、走査装置  $S$  の背面に背部電極板  $B$  を設け、透明電極  $A$ 、トランジスタ  $T$  間に映像信号によ



第 6 図



第 7 図

り変調された高周波信号電圧  $V$  を加えて  $R_1, R_2$  にバイアス電圧  $E_1, E_2$  を印加する。なお、トランジスタはたとえばゲルマニウムの薄板の両側にインジウムのような物質の薄板を被着し、それを基盤の目に切割線で区画し、たとえば縦 525 本および横 525 本  $\times 4/3$  の数を持つトランジスタを構成する。または絵素の数あるいはそれ以上のトランジスタ単体を同様に接続してもよい。

この装置の動作を説明すると、ピエゾ物質の細線よりなる走査線の 1 端に図示のような衝撃波を与えると、走査線中に起電力を発生して走査線中を進行する。この起電力を発生している部分と接続したトランジスタのエミッタには起電力による電圧が印加されて、このトランジスタ回路のゲートは導通し、高周波電圧  $V$  が  $ALR_2T$  間に印加されるので、この導通位置に対応したけい光板  $L$  の素点(走査点)が発光する。

この高周波電圧は前記のように映像信号電圧に変調されているので、発光点は映像信号電圧により制御される輝度で発光し、走査点(発光点)の移動によって映像を再生することができる。

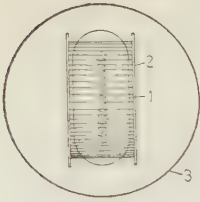
## 129. 可調整焦点形三極 X 線管

特許 262169 (特公 昭 35-430)

発明者 岡部雄治

特許権者 東京芝浦電気

現在広く利用されている X 線管の陽極上の焦点は短い棒状であり、このことは制御格子を持つ三極 X 線管でも同様である。しかし、このような棒状焦点よりも点状または小円状の焦点のほうがすぐれていることは明らかであるから、この発明は三極 X 線管の棒状焦点を改良して点状または小円状とするものである。すなわち第 8 図に示すようにらせん状のフィラメント (1) に接近してフィラメントと陽極との間に格子電極 (2) を



第 8 図

によって焦点の幅を加減することができ、両者によって焦点を点状または小円状にすることができる。

### 130. X 線装置の過負荷防止装置

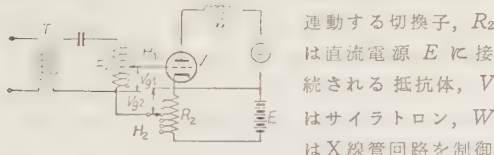
特許 261809 (特公 昭 35-431)

発明者 岡西節夫, 西村 薫

特許権者 昌津製作所

この発明はX線管の管電圧、管電流および照射時間によって決定される負荷量が最大許容範囲以上である場合に、X線管付勢回路を開放して過負荷状態となるのを防止しようとするものである。

第9図で  $T$  は一次側に管電圧またはこれに比例する電圧を印加する変圧器で、二次側にはタップ付抵抗体  $R_1$  を設ける。 $H_1$  は管電流切換え機構と連動する切



第 9 図

線,  $A$  はその付勢交流電源である。

$V$  の格子には  $R_1$  による交流電圧  $V_{g1}$  と  $R_2$  による直流電圧  $V_{g2}$  との重ね合わせ電圧  $V_g$  が印加され、格子電圧  $V_g$  はX線管の負荷が最大許容値以上になった場合にその電圧曲線がサイラトロン  $V$  の放電開始格子電圧曲線と交わるように選定されているので、そのような場合にはサイラトロンが放電し、 $W$  が付勢されてX線管回路を開き、X線管の過負荷を防止する。

### 131. 標準可変インピーダンス装置

特許 261472 (特公 昭35-678)

発明者 小口文一, 中川一郎

特許権者 電電公社

この発明は円形導波管内に金属板、抵抗板および無反射終端を内装した、構造が簡単でインピーダンスが長さや角度から計算できる特徴を持つ標準可変インピーダンス装置に関するもので、第10図に示すように円形導波管1内の抵抗板3に対し垂直に電界が  $E$  の  $TE_{11}$  波を入射させると、抵抗板3からはなんら影響をうけず金属板2に行く。金属板2が  $\theta$  だけ傾いてお

れば透過電波は無反射終端4に吸収され、 $E_2 = E \cos \theta$  の反射成分が反射されてもどってくるが、その中の  $E \sin \theta \cos \theta$  成分は抵抗板3に吸収され、 $E \cos^2 \theta$  の成分が反射電圧となるから金属板2をなんらかの方法で回転すれば、絶対値が  $\cos^2 \theta$  の反射係数が得られる。

次に反射係

数の位相につ

いて説明する

と、金属板2

の前面では反

射係数の変化により位相はなんら変化しない。ただ電

波は図の  $l$  の部分を二度通過するから、5-5 の面か

ら考えると  $e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}l}$  だけの位相の遅れがあるから、 $l$  を

なんらかの方法で  $\theta$  の回転と独立に  $\lambda_0/2$  変化させる

ようにすれば、位相を0から  $2\pi$  まで変化させること

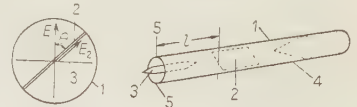
ができる。

以上のように、この発明は  $\theta$  と  $l$  の値を求めること

により任意の反射係数を計算することができ、この反

射係数からインピーダンスが計算できるから、これを

標準インピーダンスとして使用することができる。



第 10 図

### 132. 導波管装置

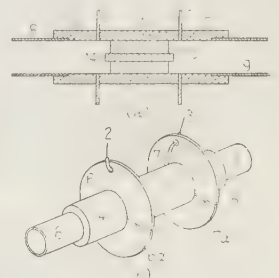
特許 262988 (特公 昭 35-679)

発明者 Roy Stanley Cole & William Neil Honeyman

特許権者 E. M. I.

フェライトを含む導波管に交番磁界を加える場合、導波管壁を通して加えると、その壁の中でうず電流損が生じるから、うず電流損を減らすため従来はうず電流の通路を切るように管壁に切れ目を入れたり、管壁の厚さを減らしたりしたが、周波数が増すと前者の場合は切れ目から電力を放射し、後者の場合は伝送損を増すという欠点があった。

この発明はそのような欠点がなく、うず電流損を減らすようにしたもので、第11図に示すようにソレノイドコイル1にはその両端子2, 3 から交流を流し、導波管中に交番磁界を生じさせる。強磁



第 11 図

性体14はあわ状ポリスチレン15によってソレノイドコイル1中で同軸に支持され、このソレノイドコイル1の両端には、短絡巻線とならないように放射状みぞ6a, 7aを設けたアルミニウム間隔片6, 7を隔てて短絡巻線効果を防ぐ目的の電流を流さないソレノイドコイル4, 5が、その端部が黄銅の円形導波管8, 9をとり巻くように巻かれている。コイル1, 4, 5の

巻線は充分緊密に、そして隣接巻線間の容量が充分大になるように巻かれるから、エネルギーは導波管中から漏れることなく伝送される。

以上のように、この発明は導波管の一部をソレノイドコイルで置きかえ、交番磁界は導波管を通さないで加えられるため、うず電流損を減らすことができる。

## ニ ュ ー ス

### ◇ 東京西線にわが国初の4導体

東京電力では、275 kV 東京西線の一部 2,919 km、鉄塔 No. 1014~1021 間にわが国で初めて営業線に4導体を架線することになった。これは横浜市西部にある米軍上瀬谷無線線の要求で、アンテナから半径1マイル以内の部分を4導体とすることとなったものである。

同社では昭和 33 年下期より埼玉県入間郡の顔振峠を横切る黒山多導体試験線（仮称、旧西東京幹線鉄塔 No. 209~220 間、こう長 4,369 m）で、主として多導体の機械的特性につき一連の実験を行っている。

東京西線の4導体は、黒山試験線での試験結果をとり入れ、6月、7月に架線工事が行われた。鉄塔は従来の2導体が平均1基あたり約 13 t に対し約 20 t

になっており、暫定的に1相4条のうち2条の断線を想定している。電線は 330 mm<sup>2</sup> ACSR で4導体の配置は 40 cm 間隔の正方形で、適正な間隔にスペーサを入れる。スペーサは電線把持部がボールソケットになっているXロッド形である。耐張鉄塔ではジャンパ線の強風による横振れに対する補強をするため、4導体の中心に外径 34 mm の鋼管を通し固定形ジャンパスペーサではあくしている。これによる横振れの減少は、なにも補強しない場合の 1/2 以下と推定される。がいしは 16.5 t 規格のボールソケット形懸垂がいしを用い、連結個数は他の2導体部分の 19 個（これは塩分付着による絶縁低下を考慮して標準 17 個に2個増結したもの）に安全度を増すため1個加えて 20 個としている。懸垂鉄塔では 20 個がいしの一連懸垂装置で、水平2導体の下にもう1組の水平2導体を吊った形である。耐張鉄塔では、がいし3連で引き留める。鉄塔側は3点支持となっており、がいし連長調節金物がついている。電線側には電線4本の荷重を3連のがいしで平均して分担できるような自動張力バランスヨークがついている。さらにがいし装置の先端には電線のたるみを調節するための扇形弛度調節金具がついている。さらに特筆すべきは、がいし連の防絡とコロナ雑音シャヘイ用に2重リング式アーキングシールドリングを取りつけたことである。

### ◇ 横須賀火力発電所1号機の完成

横須賀市久里浜港と旧海軍防波堤との間に建設中であった、東京電力の横須賀火力発電所第1期工事が完成し、10月10日から5日間にわたり官庁試験が実施された。

この発電所の特徴としては、タービン発電機が従来のタンデムコンパウンドと異なるクロスコンパウンドを採用し、また変電所は塩害を考慮して屋内式としたことなどがあげられる。発生電力は、千葉火力とともに 275 kV の超高圧外輸線によって京浜地帯に送られる。

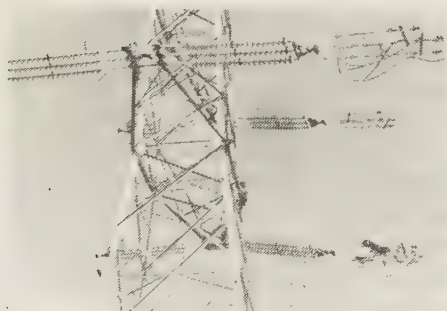
主要機器の仕様概要は次のとおりである。

**発電機** 形式：水素冷却形、定格出力：339,200 kVA（水素圧力 2 kg/cm<sup>2</sup>）、力率：0.85、電圧：15,000 V、製造者：General Electric Co.

**蒸気タービン** 形式：2軸復式4流再熱形、定格出力：265,000 kW、蒸気圧力：168.7 kg/cm<sup>2</sup>、蒸気温度：566°C/566°C、製造者：General Electric Co.



4導体の延線状況







**ボイラ** 形式：三菱・神戸 CE コントロールサーキュレーションボイラ，CCRR-T 形，蒸発量：908 t/h，蒸気圧力：176.1 kg/cm<sup>2</sup>(過熱器出口)，蒸気温度：571°C/571°C，製造者：新三菱重工工業株式会社

**主要変圧器** 形式：屋外用三相送油風冷式，容量：300,000 kVA，電圧：一次 14.7 kV，二次 268.75-275-281.25 kV，製造者：東京芝浦電気株式会社

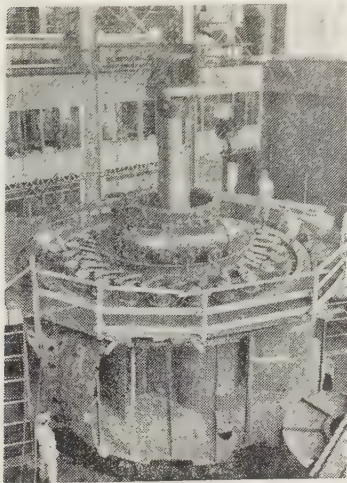
### ◇ 大淀川第1向け

#### 本邦最大容量カプラン水車完成

富士電機でつくられていた九州電力大淀川第1発電所(宮崎県)向け 43,800 kW 立軸カプラン水車と 45,000 kVA 同期発電機が工場試験を終え，現地すえ付けが進められている。先に同社が，電源開発秋葉第2発電所向けに製作した 38,000 kW カプラン水車が，運転中の本邦最大容量カプラン水車であったが，その記録はこれによって更新されることになる。

大淀川第1発電所は最大落差 40.4 m で，水車はランナ翼7枚，最大外径 4.08 m，ケーシングの内径 4.5 m，回転数 180 rpm，使用水量 122 m<sup>3</sup>/s である。きわめて大形のためケーシングは現地で高接して，み立てる。ランナベーンサーボモータは発電機・励磁機の中に設置される。発電機回転子と水車ランナおよび主軸

などが回る推力軸受は水車上カバの上に取り付け，発電機のステータに重みがかからない構造にしておき，水車ガイドベーン操作にはリングサーボモータを使用するなど，最新技術を駆使した画期的構造となっている。水車の調速機は富士電



機式を採用している。推力軸受支持荷重は 850 t に達する。すえ付けを終り，通水するのは今年末の予定。

### ◇ インド国鉄向け交流電気機関車完成

わが国最初の輸出用交流電気機関車として注目されていたインド国鉄向け交流電気機関車 10 台のうち第1号機がこのほど三菱電機で完成，近く船積みされる。

この電気機関車は，イグナイトロン整流器式交流電気機関車で，わが国最初の交流電気機関車の輸出になるが，性能上でも，たとえば，(1)駆動方式としては，世界にも例のない大容量の WN ドライブ駆動装置を採用している。(2)相変換機で，単相の交流入力を三相の交流出力に変換する方式がとられているが，容量は連続定格150 kVAで，この種の変換機としてはわが国最大である。などわが国の技術水準を示している。



上記以外のおもな特長をあげると

(1) 日陰で最大 45°C(113°F)，湿度 100% という最悪条件の場合にも運転に支障なく，乾期・雨期ともに問題はない。(2) 電機品の特に温度上昇は IEC 規格よりも，約 20°C 低くなるよう設計されている。(3) 電気機関車出力は，連続定格出力 2,100 kW のものを装備し，かつ耐高温湿などの条件をみたしているにもかかわらず，広軌軌道(5フィート6インチ)の限界内，75.2 t に収めることができた。(4) 主変圧器は，車両用として外鉄形，フォームフィット形とし，小形軽量化した。(5) イグナイトロン整流器は防振，水冷式。(6) 主電動機は定格出力 525 kW の大出力だが，重量は 2.2 t の軽量。

## ◆ 五井火力に UP ボイラ採用を計画

東京電力では最近の活発な需用増加傾向に伴ない、昭和 38 年 11 月運転開始を目標に、五井火力発電所(265MW×2) 計 530 MW の建設を希望しているが、その 2 号ボイラに UP ボイラの採用を計画している。

従来わが国で電気事業用に用いられているボイラは、ドラムを有している循環式ボイラであるが、最近のように高温、高圧、大容量の火力発電所の建設が要望されるようになると、循環式ボイラより一歩進んだ形式である強制貫流ボイラの採用が検討されるようになった。UP ボイラ (Universal pressure boiler) とは、米国 B & W 社製造の貫流式ボイラの登録商標名である。

このボイラは、従来のものと異なって種々の特徴を有しているが、(1) ボイラドラムがなく、チューブのみからできており、従来のものと比較して、ボイラ重量が軽く、高さは低くてすむ。(2) ボイラチューブなどの腐食が少なく、急速起動および迅速な負荷の調整が可能である。などがおもなものである。現在運転中の UP ボイラは、1957 年に完成した米国の Philo 発電所の出力 125 MW、蒸発量毎時 675,000 ポンド、圧力 4,500 psig 二重再熱式で、1,150°F/1,050°F/1,000°F の超臨界圧プラントがある。

## ◆ 原研の 2 号炉動く

日本原子力研究所が茨城県東海村に建設中の 2 号原子炉 JRR-2 (Japan Research Reactor-2) は昭和 35 年 10 月 1 日午前 4 時 49 分に臨界に達した。

JRR-2 は米国の AMF 社が設計、製作したもので、わが国の第 2 番目の原子炉である。臨界実験は 9 月 30 日午後 2 時から開始され、夜を徹して燃料装填作業を行い、翌早朝 15 本の燃料棒により臨界に達し、そのときの出力は 0.6 W であった。爾後特性実験を経て、出力上昇試験を行い、今年中には 1,000 kW の出力に達する予定である。

この原子炉は 20% 濃縮ウラン板状燃料および重水減速材を用いた非均質形の実験用熱中性子炉で、最大熱出力は 10 MW、平均熱中性子束は  $1.3 \times 10^{14} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$  の予定であったが、燃料製作上の問題により、現在ではとりあえず 1 MW の運転を計画している。炉心の大きさは直径 81.3 cm、高さ 61 cm で 24 本の燃料棒を装填することができる。炉心を入れる重水タンクは内径 152.4 cm、深さ 191.8 cm のアルミ製で、このタンクの周辺は 190.5 cm の重コンクリートの生体しゃへいでとりかこまれ、生体しゃへいを貫通する多数の実験孔がある。実験孔としては次のものがある。

(1) 熱中性子柱: 152.4 cm 角、奥行 132.1 cm のグラファイトよりなるもの 1 個がある。

(2) 水平実験孔: 直径 10.2 cm, 15.2 cm, 19.1

cm, 27.9 cm の 4 種の大きさのものが全部で 11 本ある。

(3) 垂直実験孔: 直径 10.2 cm のもの 1 本と別に半径 70.1 cm の円周上に 8 本、合計 9 本ある。

(4) 水平貫通実験孔: 直径 15.2 cm のものが 2 本重水タンクを貫いている。

(5) アイソトープ・トレン: 重水タンクの下部、熱しゃへい体中にあり 20.3 cm×30.5 cm の断面のものが 2 本ある。

(6) 気送管: 直径 5.72 cm および直径 3.81 cm の 2 本が炉心を貫いている。

## ◆ 国鉄で運転基本性能曲線計算機を試作

国鉄ではこのほど運転基本性能曲線計算機を試作した。これは列車運転の基礎となる基本性能曲線を計算する機械である。基本性能曲線は列車運転の特性を曲線で表わすもので、列車運転計画の基礎として不可欠のものであるが、これまでは複雑な作業と長年の熟練によって膨大な手数と時間をかけて行われていた。この機械の完成によってこれらの諸特性を自動的に計算し図に描くことができるようになった。

この計算機は列車の、この配別速度距離時間、速度力曲線、荷重曲線、走行抵抗曲線などの演算ができるアナログ計算機で、各種条件の設定は、すべてプリパッチ板あるいは係数用ポテンショメータなどで機器本体に与えることができ、きわめて短時間に演算処理ができる。

## ◆ わが国最初のハーバ・レーダ

海上保安庁ではわが国最初のハーバ・レーダ局を北海道釧路港に設置することになり、36 年度より 2 年計画でこれが完成を期している。ハーバ・レーダは陸岸に設置して船の出入港などを電話連絡により援助(航空でいう管制とは異なる)するためのものであるが、特に船上でなく陸上に設置する理由は、(1) 高分解能などの高性能、したがって高価なレーダの利益を多数の船が安価に受けうること。(2) 陸上に設置されたレーダはトルーモーション・レーダであること。



24,000 Mc レーダと空中線



(3) パルス幅などの影響により、船上レーダでは自船の周囲が見えないが、陸上レーダでこの欠点を補うことができる。(4) 熟練した監視員よりの情報が利用できる。など、多くの利点があるからである。したがって使用レーダはこれらの特長をもっともよく活かすようなものでなくてはならない。

この意味で、ハーバ・レーダとしては世界最初の 24,000 Mc の採用が決定されたという。諸外国では主として 9,000 Mc 帯、次に 3,000 Mc 帯が使用されているが、同庁では最近のミリ波技術の発達にかんがみ、この採用にふみ切ったといっている。

釧路港に設置する施設は、このほか、9,000 Mc 帯レーダ、150 Mc 帯入出港援助業務用通信装置（2 通話路）、VHF 方探、レーダ局と保安部間のレーダ・リレー装置などである。英国リバプール港の 9,000 Mc ハーバ・レーダと釧路港の 24,000 Mc レーダとの性能を比較すれば下表のとおり。

	釧 路	リバプール
空 中 線	水平 0.25°, 垂直 4~5°	水平 0.3°, 垂直 4°
出 力	40 kW 以上	10 kW
パルス幅	0.025 $\mu$ s, 0.05 $\mu$ s	0.05 $\mu$ s
パルスくり返し	10,000 pps, 5,000 pps	1,840 pps
I F	70 Mc 以上	80 Mc
IF バンド幅	$\pm 48$ Mc 以上	22 Mc
ビデオバンド幅	48 Mc 以上	12 Mc
P.P.I.	406 mm (16in)	381 mm (15in)
オフセンタ	1 半径	5 半径

### ◇ 国鉄、東海道で列車無線電話を開始

国鉄が今年初めから工事を進めてきた列車無線電話（4 月号ニュース欄既報）が、完成し、国鉄業務用は 8 月 1 日から、また公衆用は 8 月 20 日から使用を開始した。本設備は 450 Mc 帯を使用した空間無線方式で、区間は東海道線東京一大阪（一部列車は神戸まで）500 km 余にわたり、さしあたり設備された列車は特急列車の「第 1 こだま」「第 1 つばめ」「第 2 こだま」「第 2 つばめ」上り下り 8 本の列車である。

設備は列車内の公衆用電話はビューフェにある電話室と展望車に設備され、電電公社の市外電話局を経て東京、名古屋、大阪の各加入者と通話ができるものであり、業務用電話は運転室と車掌室に設備されて、国鉄業務交換台に接続されて運転指令あるいは旅客取扱業務などに使用される。

使用開始後の使用状況は公衆通話は 1 個列車平均 1 日 15~20 通話であり、業務通信は使用制限をしているが 1 個列車 1 日平均 4~5 通話である。

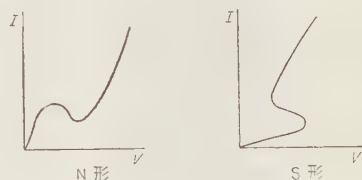
### ◇ 新しいエノモト・ダイオード

近年のエレクトロニクスの進歩はトランジスタに始まる半導体技術の進歩に負うところが大きい。エサキ・ダイオードが世界の電子技術陣によって活発な実

用化が進められている矢先、これと同じような負性抵抗をもつダイオードが、また国内で発明されたと報ぜられて話題となっている。

このエノモト・ダイオードは、多くの特許を持つ発明家である太平電子の社長榎本雅道氏の発表によるものである。同社でダイオードを組み立てていたところ、偶然オシロスコープ上に負性抵抗を示す S 字現象を発見して以降、意識的にこの特性を持つダイオードを作ることに成功しているというのである。

負性抵抗といっても、エサキ・ダイオードが電圧制御形で負性を持つ（図の如く、N 形ともいう）のに対して、このダイオードは電流制御形で負性抵抗（S 形を示す）。



現在の試料を使って電気試験所が実験したところによると、スイッチング時間は 0.1  $\mu$ s であり、発振させても 1 Mc 前後どまりであるといわれている。一方従来、高速度用のスイッチング素子と目されている p-n-p-n ダイオードは、スイッチング時間がこれと同程度であり、また p-n-p-n ダイオードでこのような電流制御形の負性抵抗を示すものを作ることはできる。

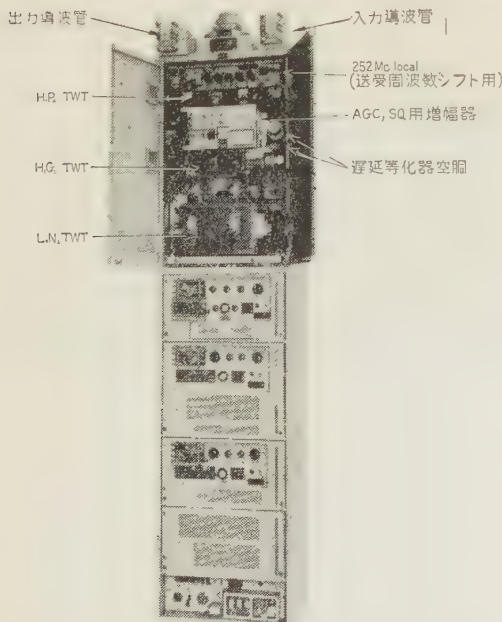
このようなことから、エノモト・ダイオードは p-n-p-n ダイオードに似たものと思われるので、本質的に超高速な動作をするエサキ・ダイオードのような素質を持っているとは思われそうもない。

### ◇ 6 Gc 直接中継機試作

6 Gc 帯で電話 1,800 チャンネル以上の超々多重伝送を目指して電電公社通研で実用化を進めてきた直接中継方式に用いる中間中継機（送受信機）の試作機がこのほどでき上がった。直接中継方式は増幅、周波数推移送信をマイクロ波帯のみで行ってしまう方式で、今回の試作機は低雑音、高利得、高出力の 3 本の進行波管で NF 11.5 dB、最大利得 95 dB、出力 41 dBm (12.6 W) の中継機を構成している。高利得進行波管はそのヘリックスに 252 Mc の推移用電圧が加えられて、受信周波数を送信周波数とする変換器として動作するとともに、ビーム電流制御により制御範囲 30 dB の AGC 動作をもあわせて行う。

各進行波管はその取り換えによる信号通過域内の振幅および遅延特性変動が回線設計上無視できるよう、内部反射などについても厳重に規正されたものとなっている。したがって振幅、遅延両特性の保守時における変動は、ほとんどフィルタ、遅延等化器、低雑音、





高利得両管の間にあり送受信機および送受の分波器の遅延ひずみを等化する)などの特性変化によるものとなる。そこでこれらの回路素子を温湿度補償形とし、その特性変化を押えている。

現在 Lab. Test 中であり、11月8~10日の所内公開の後、同じころまでに Lab. Test を終る変復調装置とともに比較一名古屋間で現場試験が行われることになっている。

#### ◇ 4,000 対 PEC ケーブル試作

電電公社通研ではかねてから市内ケーブルの細心多対化の研究を行ってきたが、このほど 0.32 mm, 4,000 対の試作に成功した。1本の管路に収容できる従来の最大対数は 0.4 mm の 2,400 対である。

通研では数年前、塗装方法により発泡ポリエチレンを心線に被覆する新しい方法を見出し、これを PEC と呼んで、この PEC 心線による多対ケーブルの実用化を、古河、住友、藤倉の3社の協力のもとに進めてきた。昨年夏 0.32 mm 架空ケーブル 200 対 1,800 m, 100 対 500 m を試作し、通研内で実験電話用として実地に使用し好成績を納めたので、引き続き多対化の研究を進め、本年6月から8月の間に鎌倉 (0.32 mm, 0.4 mm, 0.5 mm 200 対架空各 300 m, 0.32 mm 1,600 対地下 250 m), 銚子 (0.32 mm 100 対, 800 対架空各 300 m) および白金 (0.32 mm 3,800 対, 地下 200 m) において、架渉、管路布設、接続の実験 (加入者を入れない) を重ね、このほどついに 0.32 mm 4,000 対ケーブルの試作に成功したものである。また3社とも本格的な塗装設備の見通しも立ったので、8月に研究会を終了し、来年秋開局の昭和局 (東

京都昭島市) において、通研で研究完成された新形電話機とともに、1局のほとんど全部に試用することになり、着々と準備が進められている。

PEC 心線というのは、導線を溶剤に溶かしたポリエチレンそう中を通して塗布し、乾燥後加熱発泡させたもので、泡の大きさも  $30\mu$  ぐらいの微小のもので、0.32 mm の被覆厚 80  $\mu$  に対し機械的にも電氣的にも充分な強度を持っている。試作 4,000 対アルベス被覆ケーブルの特性は次のとおりである。

ユニット構成: 202 対×20, 配列 1-7-12

集合径: 約 60 mm, ケーブル外径: 63 mm

ケーブル重量: 約 7 kg/m

導体抵抗: 約 217  $\Omega$ /km (1本)

静電容量: 約 50 nF/km

耐圧: DC 500 V 以上

絶縁抵抗: 100 km $\cdot$ km 以上

カット周波数: 約 20 pF/100 m

#### ◇ 500 kV, OF ケーブル試作完成

400 kV ないし 500 kV 級送電は、わが国でも近い将来に実現必至と見られているが、住友電気工業ではこのほどわが国での最高電圧 500 kV, OF ケーブルを試作した。

試作ケーブルは写真に示す様な構造で、導体サイズ 400 mm<sup>2</sup>, 絶縁厚 28 mm で、衝撃電圧を高めるために、最小 25  $\mu$  の薄紙を絶縁に使用し、交流耐圧を増すために、常時 15 kg/cm<sup>2</sup> の油圧をケーブルに印加した高油圧 OF ケーブルで、

使用最大電位傾度を、18.6 kV/mm としている。本ケーブルの構造および試験成績は次のとおりである。



400 mm<sup>2</sup> 500 kV OF ケーブル構造  
および試験成績

構 造	公称電圧 (kV)	500	
	公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	400	
	絶縁厚 (mm)	28	
	鉛被厚 (mm)	9	
	補強帯厚 (mm)	4	
造	防食層厚 (mm)	3.5	
	外径 (約 mm)	120	
	重量 (約 kg/km)	46,000	
試 験 成 績	絶縁耐力 (kV)	インパルス	2,150 異常なし
		交流長時間	800 異常なし
	屈曲試験	半径 1 m の円周、すなわち鉛被外径の 20 倍の直径	異常なし
	誘電特性 (%)	常温~80°C	0.3~0.25
	耐内圧試験	100 kg/cm <sup>2</sup> の油圧	耐える

## ◆ インドへ放送機の大量輸出

放送機の輸出は、先にイランへの 100 kW 放送機 2 台を初め、沖縄への 5 kW テレビ放送機など次第に増加の一途をたどって来たが、このほど日本電気の明らかにしたところによると、同社は All India Radio(国営放送機関)から総額約 7 億円に達する放送機の注文を受けたという。これは戦前、戦後を通じてこの種製品の輸出では最大規模のものであり、輸出の将来性に明るい見通しを明らかにしている。

今回の同社契約品目には、100 kW 放送機 1 台、50 kW 2 台、10 kW 35 台、1 kW 23 台とこれらのアンテナ、付属品一切で大部分を来年 3 月までに、残余を来年度に納入することになっている。A.I.R. のこの発注は、インド国内放送拡充 5 個年計画(第 2 次および第 3 次)の一部をなすもので、5 年間の技術協力を伴っており、インドの放送機国産化計画にもつながっている。

この契約と併行して日本電気音響がつくったスタジオ用テープ録音機も日本電気を通じて輸出されることとなり、今後 2 年間に約 4 億円の輸出が見込まれているという。現在 A.I.R. で動いている放送機は、いずれも欧米製品であるが、今後増設されるものは全部日本製品となるわけで、放送機の輸出もようやく本格化したと考えられよう。

## ◆ 35 年度通産省

### 鉱工業技術試験研究補助金決まる

昭和 35 年度鉱工業技術試験研究補助金については

昭和 35 年度鉱工業技術補助金交付先一覧表(電気部門)

テ ー マ (指定要綱)	出 給 先	金 額 (千円)
(1) 小形電子計算機の実用化試作	日 本 電 気	3,000
(2) 小形事務用電子計算機の実用化試作	日立製作所	6,000
(3) 小形電子計算機の実用化試作	沖 電 気	4,500
(4) 磁気テープを用いた小形電子計算機の実用化試作	東京芝浦電気	7,800
(5) 各種タイプライタ等の自動機械に磁気テープを応用するための試作	日本タイプライター	2,300
(6) 溶有酵素計の試作	電気式化学計器研究所	1,300
(7) 火力発電所ボイラ用水自動分析装置の試作	日立製作所	9,800
(8) プロセス制御用 X 線式成分分析器の試作	理 学 電 機	3,000
(9) 大口径電磁流量計の試作	北 辰 電 機	2,600
(10) 高速多重情報処理系要素の試作	松下通信工業	1,700
(11) ランダム・プログラムによる油圧式疲労試験機の試作	東京衝機製造所	3,500
(12) 疲れ試験機の負荷自動制御装置の試作	島 津 製 作 所	3,200
(13) エレクトロンプループ、マイクロアナライザの試作	島 津 製 作 所	3,700
(14) ハイブリッド計算機の試作	日立製作所	7,700
(15) 工作機械の自動制御に使用する電気機械の試作	山 洋 電 気	1,000
(16) 高速パルスモータの試作	桐 生 英 工 会	1,000
(17) サーボ用スリプロータ二相誘導電動機の実用化試作	原 電 気	4,500
(18) カッタ摩耗補償付 3 次元自動工作装置の試作	富士通信機	3,700
(19) 中形輸送機電子機器の実用化試作	東京芝浦電気	5,500
(20) 中形輸送機搭載電子機器の実用機器の実用化試作	日 本 電 気	2,400
(21) 航空機用オートパイロットの試作	東京計器製造所	1,300
(22) 中形輸送機搭載 HF 無線機の実用化試作	三 菱 電 機	1,300
(23) 中形輸送機の短波通信および超短波空中線ならびに空中線系の研究	三 菱 電 機	1,000
(24) ドップラレーダの試作	三 菱 電 機	2,000

昨年と同様、本年 2 月、通産省省議で決定された審査要領に基づいて、(1) 指定課題、(2) 共同研究、(3) 試験所などの研究成果の実用化の 3 項目に重点を置いて審議を行った。その結果、申請件数 227 件(研究費総額約 30 億円、要求補助額約 12 億円)のうち、123 件(補助金総額 4 億 7,530 万円)を採択候補として 6 月 27 日省議決定した。このうち電気部門については電子機器などの試作に関する研究(指定課題)が 63 件(2 億 3,600 万円)で自由課題は 2 件(6 百万円)となり、昨年にくらべると件数では 8 件、補助金額では約 3,000 万円と減っている。

指定課題の内容別件数(カッコ内は申請件数)は、(A) 計数形電子計算機に関する試作研究が 5 件(10)、(B) 計数形自動制御器に関する試作研究が 13 件(23)、(C) 電子式電話交換装置の試作研究が 0 件(0)、(D) 航空用電子機器に関する試作研究が 6 件(8)、(E) カラーテレビジョン送受信装置に関する試作研究が 1 件(2)、(F) ビデオテープレコーダに関する試作研究が 3 件(6)、(G) 放射線機器に関する試作研究が 5 件(9)、(H) 高性能高周波測定器に関する試作研究が 3 件(3)、(I) 医用電子機器、電子ビーム応用機器に関する試作研究が 14 件(23)、(J) 電子機器部品および材料に関する試作研究が 13 件(28)、計 63 件(119)となっている。

これらのなかから注目すべきものをあげると、電子計算機が本年度は普及形小形のものの実用化をねらっており、新しく登場したものとして医用電子機器、電子冷凍、電子照明などがある。採択部門のテーマ、申請者、金額は下表のとおりである。

(25) 高精細度カラーテレビジョン映像投写装置の試作	日本ビクター	6,000
(26) カラーテレビ用ビデオテープレコーダの試作	ソニー	6,500
(27) ビデオテープ用ドロップアウト計数器の試作	東京電気化学	4,600
(28) 工業用 VTR の試作	松下電器	5,600
(29) 電子線状加速器の試作	東京芝浦電気	15,000
(30) 生体組織等価線量計の試作	島津製作所	2,200
(31) 大形 NaI(Tl) シンチレータの研究	堀場製作所	1,000
(32) 低エネルギー $\beta$ 線用液体シンチレーション式放射	神戸工業	2,500
(33) シンチレーションカメラの試作	日本無線医学研究所	1,600
(34) サンプリングオシロスコープの試作	岩崎通信機	2,500
(35) ミリ波帯スペクトラムアナライザの試作	日本高周波	1,500
(36) 50 Gc の信号発生器	日本高周波	1,700
(37) 手術中の生体諸機能監視装置の試作	日本光電	1,000
(38) 生体電気現象の計測データを自動処理する装置の試作	日本電気	1,400
(39) 超音波診断装置の試作	日本無線医学研究所	1,200
(40) 電子照明装置の研究	新日本電気	3,100
(41) 熱電子応用による恒温装置の試作	小松製作所	4,600
(42) 高性能 TE 用素子の研究	松下電器	3,700
(43) 希小元素を使わない電子冷却パネルの研究	東京計器製造所	1,100
(44) 電子ビームによる精密加工装置の試作	理化学研究所	6,000
(45) 電子ビーム融解の実用化試作	日本真空技術	6,000
(46) プラズマジェットに関する研究	新明和興業	3,000
(47) 自動平衡形ペンオシログラフの試作	横河電機	1,500
(48) 高速度電子記録装置の試作	日本電気	1,900
(49) 超音波溶接装置の試作研究	島田理化	1,000
(50) ミリ波用増幅電子管の研究	日本電気	2,000
(51) メサ形トランジスタ用シャドウエバポレーションマスクの工業化研究	凸版印刷	4,000
(52) LCR マイクロモジュール部品および薄膜メモリーエレメントの研究	東洋通信機	10,000
(53) 集合回路用セラミック材料のプラズマによる製造研究	日本碍子	1,800
(54) マイラフィルムを基材とした小形 CR 複合部品の研究	指月電機製作所	2,200
(55) 超小形抵抗器の研究	興亜電工	2,400
(56) セラミックを基板としたマイクロ回路の工業化試験	村田技術研究所	8,000
(57) 導電性合成物質利用による抵抗体の工業化試験	ヤギシタ電機	3,000
(58) フェライトを主体とする高性能磁性材料の工業化試験	東京電気化学	9,100
(59) 超高速演算記憶用薄膜素子の研究	東北金属	8,400
(60) 強磁性薄膜の研究	東京電気化学	1,800
(61) ガラスサミスタに関する研究	東亜電波	1,100
(62) 高純度化合物半導体インジウムアンチモンの製造研究	東京冶金	2,500
(63) 扁平式クラッド形蓄電池の製造研究	日本蓄電池	2,900
テ ー マ (自由課題)		金 額 (円)
(1) 高速飛しょう体の飛しょう経路制御法および相似解析法の研究	富士精密	5,000
(2) 工作機械用交流出力変速電動装置の試作	東洋電機	1,000



## 本 会 記 事

### 10 月 臨 時 理 事 会

10 月 20 日午後 5 時 50 分から陶々亭にて、福田、宮本両副会長、山田、和田、木村、小沢、柳井、荒川各常務理事、斎藤支部長出席、長島参事列席、本会の運営方法等につき協議した。

### 10 月 役 員 会

10 月 21 日午後 4 時 30 分から日本交通協会会議室にて開催、福田、宮本、浅見各副会長、関、山田、和田、小沢、上之園、荒川各常務理事、斎藤支部長、山下、喜多村各評議員出席、ほかに議長への委任、長島参事、田野囑託、柏原、久田主事、長島、上杉書記および通信教育会飯島主事、栗原囑託列席、次の事項を協議した。

#### 1. 本会事業運営に関する件

支部費配分額につき、各支部の事情等につき諸意見があったが、支部役員の出席者が少なかったので、あらためて書面により各支部の意見を徴し、次年度予算編成の資料とすることとした。

#### 2. 報 告

- (1) 編修委員会委員の更任
- (2) 専門講習会および通俗講演会への補助金交付
- (3) 昭和 35 年連合大会の状況
- (4) 昭和 36 年連合大会の準備状況
- (5) 昭和 35 年支部大会開催状況
- (6) 創立 75 周年(昭和 38 年)記念事業に関する準備状況
- (7) 製鉄工業専門委員会調査項目変更
- (8) 規格の制定ならびに廃止
- (9) 日本学術会議「溶接研究連絡委員会委員」の推薦
- (10) 国際電波科学連合 (URSI) 会議組織委員の推薦
- (11) 元 AIEE 会長オスボーン博士講演会
- (12) 本会蔵書の委託
- (13) 出版 技術報告 42 号(8 月)通信教育会教科書(重版 15 点…6~9 月)等

### 10 月 理 事 会

10 月 21 日午後 5 時 30 分から日本交通協会会議室にて開催、福田、宮本、浅見各副会長、関、山田、和田、木村、小沢、上之園、荒川各常務理事、斎藤支部長出席、長島参事、田野囑託、柏原、久田主事、長島、上杉書記および通信教育会飯島主事、栗原囑託列席、次の事項を協議した。

1. 報告 (1) 9 月決算報告 (2) 会員異動 (3) 雑誌発行状況、(4) 通信教育会事業
2. 功績者選定委員会委員選定の件 第 10 回浅野賞、第 10 回電力賞および第 17 回電気學術振興賞各受賞者選定のための標記委員を選定した。
3. 次年度予算に関する件 主要方針に関し協議し、次回までに各新任理事が疎案を作成し提案することとした。
4. 支部費に関する件 各支部の意見を徴した上、協議することとした。
5. 日本学術会議「自動制御連絡会」分担金に関する件 関係技術委員会委員長等と協議の上措置することとした。
6. 昭和 36 年電気記念日行事に関する件 共催することとした。
7. 日本工学会会長候補者推薦の件 丹羽保次郎君を推薦した旨説明があり承認された。
8. その他 科学技術館に展示品出品の件、電気技術士試験に関する件等

### 10 月編修幹事主査会

昭和 35 年 10 月 4 日(火)午後 5 時より電気クラブ 5 階会議室にて開催。宮本委員長、小沢幹事長、上之園、柳井幹事、高山、山村、日高、矢崎、野村主査、小林、石崎、藤井、日下部、矢板副主査、岸、沼崎、土井、迎、尾出、佐波、市東、藤井、水利、福井、松久、黒川、三浦(武)委員、長島参事、長島、川島書記出席。

1. 寄稿査読結果から次の 16 件を採録することとした。
  - (1) コンデンサランモータ及び单相誘導電動機の逆相インピーダンスを固定化せる場合の電動機電流の近似円線図及びそれによる特性算法について
  - (2) 蓄積管における絶縁物(弗化カルシウム)の蒸着について
  - (3) 油浸紙絶縁の吸収電流-電圧特性による劣化判定
  - (4) 油浸紙絶縁の直流吸収現象(絶縁劣化判定に関する研究)
  - (5) 空気しゃ断器の電流零点近傍における現象(主として時定数に関するもの)
  - (6) 2 進コードの変換
  - (7) 周波数制御発電所の負荷分担に関する基礎的考察
  - (8) 制御系の統計的設計法に対する多重確率過程

## 予測理論の一応用

- (9) 炭素皮膜型抵抗器の高周波特性の改良
- (10) トランジスタの熱抵抗について
- (11) 位相比較法による直読誘電体損失角測定器
- (12) 単相自励式インバータの研究
- (13) 温度補償型トランジスタチョッパ
- (14) 電力用負性インピーダンス変換器
- (15) 電力系統における周波数自動制御方式の選定と運用
- (16) 数値計算の誤差（電力系統問題の解析を対象として）

2. 「技術綜説」および「講演」に関しては下記1件を依頼し、他は内容を照会することとした。

池田栄一君：バスダクト（技術綜説）

3. その他「討論」増加策、「時報委員会」開催法、雑誌の体裁変更等につき協議した。

## 昭和36年電気四学会連合大会「シンポ

## ジウム」および「部門講演」に関する打合せ

10月17日午後5時30分より日本交通協会2階会議室にて開催、次の事項につき協議した。

- (1) 36年連合大会におけるシンポジウム課題
- (2) 同じく部門講演題目
- (3) シンポジウムおよび部門講演取極

## 東京支部記事

見学会 10月15日午後1時から電気通信学会東京支部と共催にて鉄道技術研究所を見学した。参加者37名

講演会 10月29日午後1時30分から電気通信学会東京支部と共催し、日本電機工業会講堂にて、次の講演を行った。参加者300名

- 1. マイクロモジュール 武藤時雄君（通研）
- 2. モレキュラ・エレクトロニクス  
大久保利美君（三菱電機）

## 北海道支部記事

専門講習会 9月26、27日の2日間、毎日午前9時から午後5時まで、北海道電力会社会議室にて開催、次の講習を行った。参加者81名

- (1) エレクトロニクスのあゆみ  
……………浅見 義弘君（北大）
- (2) 電子装置……………黒部 貞一君（北大）
- (3) 増幅および発振……………二木 治郎君（室工大）
- (4) 変調および復調……………松本 正君（北大）
- (5) パルスの発生、成形、測定  
……………片山 辰雄君（北大）
- (6) 数字式計器……………田川遠三郎君（北大）
- (7) トランジューサ……………松本 松男君（北大）
- (8) 直流増幅器……………北村 正一君（室工大）
- (9) 磁気増幅器と電気機械制御  
……………林 邦雄君（北大）

## (10) テレメータと電子管平衡計器

……………三浦 良一君（北大）

講演会 10月10日午後2時30分から札幌市、産業会館にて次の講演を行った。参加者63名。

## 電子計算機の回路的諸問題

……………後藤 英一君（東大）

## 北陸支部記事

見学会 10月8日次の見学をした。参加者40名、酒井繊維工業会社、信越化学会社武生工場、倉茂電気会社

電気三学会支部連合大会 10月19、20日金沢大学工学部にて開催した。参加者200人

## 特別講演

- (1) アメリカの電力事情……………日置高志君（東芝）
- (2) 宇宙開発の研究について  
……………前田憲一君（京大）

一般講演 21件

見学会（国鉄松任工場）参加者60人

懇親会 19日夕 参加者35人

## 中国支部記事

通俗講演会 10月10日午後1時から中国電力会社総会場にて開催、次の講演を行った。参加者200名

- (1) 新しい建築と照明（スライド併用）  
……………江川舜之介君（日立）

## 本会蔵書の閲覧について

本会の蔵書は、従来東京大学工学部電気工学科図書室に委託しておりましたが、本年11月から東海大学工学部図書室〔東京都渋谷区代々木富ヶ谷、小田急代々木八幡、京王帝都井之頭線駒場駅、横ヶ谷行バス二ツ橋（東海大学前）下車〕に委託し会員の閲覧に供します。閲覧については、次の事項を御了知下さい。

- 1. 閲覧される場合は、本会から閲覧券の交付を受けること（有効期間1ヶ月）
- 2. 閲覧者は東海大学図書室の閲覧心得に従うこと
- 3. 開館日時は11月1日より、平日：午前9時～午後5時まで、土曜日：午前9時～午後3時まで（日曜・祭日休館）

なお本会蔵書は内外雑誌約2,520冊、図書約440冊、計2,960冊で、毎年補充しますが、内容については一応学会事務所にお問合せ下さい。

## 事業維持員（10月入会）

（株）巴組鉄工所（2口）、（株）桐生英工舎、昭和電子（株）小金井工場、東芝電興株式会社、日本航空電子工業株式会社、日本高周波株式会社、日本セメント株式会社、理研光学株式会社（1口）

会費口数増加（括弧内は増加後の口数）

昭和電線電纜株式会社, 日立電線株式会社(15口),  
(株)京三製作所(2口)

### 会 員 (10 月入会)

正 員 (31 名) 浅木茂美, 甘利辰男, 荒木輝雄, 井田良雄, 岩本俊夫, 宇都宮申八, 小笹雅弘, 岡崎澄, 金聖在, 金炳賛, 小林敏郎, 育藤清, 杉山昌, 千代宮, 高内実, 高橋明, 竹内慶太郎,

富安 稔, 鳥山英明, 中谷 勳, 中村 賢, 永田伸一, 野崎健児, 古沢久具, 松本憲吾, 丸田雅美, 三宅和雄, 皆川公治, 村田留男, 茂木正二, 吉田兵吾

准 員 (14 名) Abdas Salam, 井上朝広, 大川原友吉, 大城 卓, 小島昌明, 田中順之, 高橋 孝, 徳重寿夫, 野口 仁, 久宮貴夫, 星 明, 三橋寛治, 三森定道, 森 正裕

## 調 査 委 員 会 記 事

### 調 査 研 究 委 員 会

#### 電力技術委員会 (9 月 28 日)

##### 議 事

##### 1. 運営(委)報告

○本会 75 周年記念出版について

昭和 38 年が本会 75 周年にあたり, 記念出版として電気技術の発達史を技術委が担当して編集することとなった。

○学会誌の委員会報告は開催数に比べ少ないので, 専門(委)の協力が要請された。

2. 高電圧試験専門(委)にがいし試験(委員長 中島好忠) ケーブル高電圧試験(委員長 池田義一)の分科委員会を設置することになった。

##### 3. 火力発電懇談会の件

早くて 11 月開催の運びとなる。火力発電の技術について昭和 20 年頃を境に 2 つに分けて将来のことについても言及したい。

##### 4. 電気工学年報の件

昭和 36 年度年報は現在アンケートを整理しているので, その結果により部門, ページ数の割振りを行なう。

5. 同期機専門(委)より励磁機速度度の合同審議会に関し協力の申し入れがあり, 桑原 進, 花形 澄, 上之園親佐, 吉川平八郎の各氏を推せんした。

##### 6. 専門委員会について

○変電(委)

保守・騒音・事故調査・絶縁協調などの問題を調査することとした。

また, 電気協会施設基準(委)より絶縁間隔の原案作成につき依頼があり, 時間があれば協力することとした。

○給電(委)および電力系統技術(委)

両委員会を廃止し, 新たに給電常置委員会を設置することになった。

#### 電気材料技術委員会 (9 月 21 日)

##### 議 事

昭和 35 年 11 月 (J.I.E.E.J.)

1. 懸案の絶縁材料照射専門委員会の委員長には篠原健一氏(理化学研究所)にお願いすることとし, 委員長が交渉に当ることになった。

##### 2. コロナ放電専門委員会の件

川井委員より放電専門委員会の議事進行状況および法貴氏と打合せた結果について報告があり, 関係者間でコロナの懇談会をもち, 意見を交換することになった。出席者の人選その他の計画を川井委員が立案し, 10 月後半開催することにした。

3. 接点材料専門委員会については, 土屋氏に案を提出してもらうよう委員長から依頼することになった。

4. シリコン専門委員会は山口委員欠席で, これについてとくに連絡もなかったので, 委員長より早急に進展するよう山口委員に連絡することになった。

5. J. F. Dexter 氏来日に伴い, 学会と電機工業会と共催で 10 月 22 日午後 1 時半から電機工業会の会議室で, 関係者の座談会を開くことになったむね, 上杉氏(学会)より説明があった。

6. 材料関係者の自由な談合のときをもちたいという委員長の発言があり, これについて種々話し合いがあった。

#### 原子力技術委員会 (9 月 27 日)

##### 議 事

1. 前回議事録を確認した。また, その後の前回議事に関連する事項の進行状況につき, つぎのような報告がなされた。

(i) 35 年度版年報については, 現在印刷進行中である。

(ii) 技術綜説については, 「パルスハイトアナライザ」(森川委員担当)を「マルチチャネル波高分析器」(今井春蔵氏)に変更して原稿完了

「放射線物質の標準」(由良治氏)……10 月号掲載予定

「直接発電」……編修委より山本賢三氏に照会中

「原子力発電と電力系統」(脇坂委員)……編修委より

照会中

「核燃料要素の非破壊試験」(高木昇氏)……執筆中



「パイルオシレータ法(仮題)」(宇野委員担当)……つ

ぎの2件に題目を変更して執筆中

「半導体検出器による放射線測定」(阪井英次氏)

「原子炉動特性の測定法」(住田健二氏)

(iii) 直接発電専門委設置については未進行であるが、後の議事で相談する。

2. 第2回原子力研究総合発表会招待講演推せんについて

講演の範囲は、既発表の研究論文または論文・講演を取りまとめた総説的なものをいうことであるが、本会としては、専門委員会の調査結果を取りまとめたものを発表することとし、

○原子力計測専門委員会:「わが国において使用されている放射線計測器の現状」

○原子力発電所制御専門委員会:「BWRの動特性」が候補になったが、結局後者は期日的に難点があるので、前者を推せんすることとした。講演者は内藤委員長とする。

3. 法貴委員長より、原子力学会で専門講習会を企画することとなり、第1回として「放射線計測」を予定しているので、本委員会でも測面より応援したいむね発言があり、これに関し同じ内容の講習会を本会で31年6月に開催しているので、原子力(炉)計測くらいに内容をしばったらどうか、電気学会との共催案を考慮したらどうかとの意見がのべられ、原子力学会において考慮してもらうこととした。

4. 技術討議会開催について

検討した結果「中性子計測」に関する討議会を開催してはどうかということとなり、原子力計測専門委で準備してもらうこととした。

5. 直接発電専門委員会の設置について

小島委員より“原子力技術委員会で直接発電に関する調査を行ないたい意向があり、それに関する専門委員会を作るか、あるいはMHD発電に関しては、核融合委員会で取り上げるかについて専門委員会の意見を求めた結果、「直接発電は学問的に相当広い範囲を含み、専門委員会を作りにくいのではないか」「MHD発電はこの委員会と関係がある」などの討論が行なわれ、結局結論として、直接発電に関する専門委員会が作られない場合は、MHD発電は核融合専門委員会で扱ってもよいという意向が出された。”

という報告があり、種々検討の結果、専門委設置は慎重に行なう必要があるので、さしあたり核融合専門委で文献調査などから、はじめてもらうこととした。

6. 技術綜説題目の推せん

下記4件を編修委員会あて推せんすることとした。

(1) 放射線の標準(電試 茨木康之氏)

(2) 放射線大線量測定(電試 森内和之氏)

(3) 電気絶縁材料の放射線照射による影響(電気

材料技委員長に執筆者相談)

(4) MHD 発電(小島昌治委員担当)

そのほか、中性子標準、マニプレータなどが話題にのぼった。

7. 電気学会 75 周年記念出版について

学会上杉氏より、先日の臨時運営委員会において、標記記念出版のうち、昭和13年(50周年にあたった)以降の電気工学進歩発達史は技術委員会が担当することとなり、内容および執筆者の選択を近く依頼されるであろうむね報告があった。

8. 専門委員会報告

(1) 原子力発電所制御専門委員会

BWRの動特性に関する調査が終了し、報告書を取りまとめ中である。現在目次案を調整中で、原稿完成は年末頃である。

(2) 原子力計測専門委員会

○サーベイメータ・モニタの性能などのアンケートの収集が終り、集計法について討議した。

○現在までの議事を集計し、全般的な問題をまとめたい。

○放射線計測器の検定のための試験方法(電試作成)についての批判を行なっている。検討の結果は、つぎの改正におろこみたい。

(3) 核融合専門委員会

○MHD発電については前記のとおり行なう。

○前の技術討議会の結果から、新しい具体的な問題を採りだし、取り組む予定である。

電子管専門委員会(9月29日)

○シンポジウム

「1959年の小形管の研究すう勢について」

足立 正次氏(神戸工業)

講演に引き続き関連討論を行なった。

○見 学

現在、電電公社が熊谷—高崎間で試験中の12Mc超多重同軸ケーブル中継装置の端局装置および4.5km離れた地点にある第一無人中継所とを全員で調査した。

電子管材料専門委員会(9月29日)

○講 演

「チタンゲッタ イオンポンプについて」

中谷 忠夫氏(日本電気)

チタンゲッタ イオンポンプはB—Aゲージないしフィリップスゲージの原理を応用したものであるが、 $10^{-10}$ mmHgの到達真空度が容易にえられ、長寿命であるなど多くの特長があり、最近、大形送信管・マイクロ波管などの排気や薄膜の蒸着に好んで使われる。

固体電子応用専門委員会(10月10日)

○つぎの説明があった。

「マイクロモジュール」一般的紹介

武藤 時雄氏

「モロクトロニクス」問題点についての紹介

## 渡邊 義氏

## 整流器専門委員会 (10 月 18 日)

〇IEC SC-22-2-15 Semi-Conductor Rectifiers の審議が行なわれた。すなわち、SC-22-2-15 と SC-22-2-10 との相違点につき説明ならびに検討がなされた。

また、SC-22-2-15 において Type test と Routine test がいかなる意義ならびに関係をもつかにつき種々討議された。

## 耐熱区分専門委員会 (10 月 5 日)

〇「電気絶縁材料の耐熱区分」(技術報告原稿案)

大体完了に近ずき、次回で完成の予定である。

〇「積層品・成形品の耐熱試験」(技術報告原稿案)

第一次案の審議、次回までに第二次案を作成、別にメラミン関係についての耐熱試験の中間報告、今後の方針を討議した。

## 通信専門委員会 (9 月 20 日)

〇CIGRE 関係

1960 年第 14 部会 Study group meeting に出席した山村 昌氏(東大)より帰朝講演があった。

〇信号伝送装置規格統一について

ひずみのデータが各委員より提出され、温度・レハル変動・電圧変動による影響を考慮し、ひずみ規格値の統一のため審議が行なわれた。

また、規格値を決めた場合の測定方法について種々意見が表明された。

〇学会誌 技術綜説「電力用無線通信」の原稿について審議を行ない採択された。

## 配電専門委員会 (9 月 28 日)

〇計算機応用関係

(i) 無効電力の配分計算計画

(ii) 柱上変圧器と低圧線の計算(中間結果)

(iii) 配電系統の最適設計、電圧調整、変圧調整、変圧器ローディングに関する外国文献

## 送電専門委員会 (10 月 26 日)

〇委員長より常置専門委員会となって今回委員会を開催するにいたった事情の説明があり、今後の運営方針について審議した。次回までに各委員より審議を希望する具体的項目を提出することになった。

## 高電圧試験専門委員会ケーブル高電圧試験打合せ会 (10 月 8 日)

〇法貴委員長、池田委員よりケーブル試験打合せ会を開催するにいたった経緯の説明と、小委員会の構成についての構想説明があった。

ケーブルの高電圧試験法の調査取りまとめ方針について池田委員より説明があり、各参加委員より活発な討論が行なわれた。その結果、調査審議方法として内外規格の調査、ケーブル系統の異常電圧の調査、その進行波特性、ケーブルの絶縁体特性、他機器類の耐圧試験の考え方の調査などを行ない、月 1 回の割合で小委員会を開催し、1 年位の審議期間でケーブル高電圧

試験法に関する推奨案をつくることになった。

## パラメトリック増幅器(仮称)専門委員会

(9 月 21 日)

〇用語に関する事項

継続審議の結果、委員の間で Parametric Amplifier の総称についてアンケートをとることになった。

〇報 告

「多重同調による共振形パラメترون増幅器」

武坂氏(国際電電)

「パラメータ増幅器の励振電源変動による特性変動の理論的検討」

磯部氏(富士通)

## サーボモータ専門委員会 (10 月 20 日)

〇JIS 最終原案の訂正事項について審議した。

## AVR 専門委員会 (9 月 30 日)

〇線路用 AVR の分類・用語・仕様事項・試験法の第三読会案について全般的な検討をはじめた。

〇今回は山本委員らの意見により偏差率と変動率の区別を明らかにすることから、変動率の定義をさらに明確にするため多少の訂正を行なった。

〇そのほか、線路用 AVR の定義、温度試験などに關し若干の改訂意見があった。

## 核融合専門委員会 (10 月 3 日)

〇土手氏(通研)より「探極測定の問題」についての調査研究報告があり、磁場中のプラズマの探極測定につき各委員より討論が行なわれた。

〇林氏(東工大)より「電磁測定の問題」についての調査研究報告があり、とくに誘導除去の問題について討論が行なわれた。

〇平野氏(東工大)より「プラズマを用いたロケット推進方式」についての調査報告が行なわれた。

## 原子力発電所制御専門委員会 (10 月 14 日)

〇大山委員長の帰朝報告があり、ついで原子力発電所の制御に関する「沸騰水形原子炉の動特性(仮称)」技術報告の編集の項目選定が行なわれた。

## 電気規格調査会

## 規格役員会 (9 月 21 日)

1. 前回議事録を朗読し承認された。なお、「IEC 水タービン合同委員会」設置に関する機械学会との打合せ会の結果報告があり承認された。

2. 最大需用電力計標準特別委員会設置について

7 月役員会において公益局より設置を要望された標記の件は、その後技術討議会などを開催して検討の結果、後記のような趣旨により委員会を設置したいむね提案があり承認された。

3. JEC-151「水車」規格案審議について

本規格案は JEC-117(1948)「水車」を改正したもので、桑原水車標準委幹事より改訂の要点につき説明があり、審議の結果これを承認、規格委員総会(書面審議)にはかることとした。

上記に関連して、つぎのような打合せがなされた。

(1) 本規格に従い、IEC Recommendation の改正を申し入れる。

(2) 本規格の英訳版作成を電機工業会と相談する

4. JIS C 1710~1713「計器用変成器」関係規格の改訂要望について

計器用変成器標準委では、JEC-143(1958)「電圧変成器」制定に伴い、標記 JIS 規格の改正点を調査していたが、このほど改訂要望事項(案)がまとまったので提出された。審議の結果これを承認、JIS へ改訂の申し入れをすることとした。

5. IEC について

(1) 1960 IEC General Meeting 出席予定者および出席 T.C. 分担に関する報告があった。

(2) 下記の回答案につき、それぞれ関係理事より報告があり承認された。

01(C.O.) 304	2 Pub. 34-1	2 Pub. 34-3
17(Sec.) 903	17 A(Sec.) 23	17 B(C.O.) 7
17 B(C.O.) 8	17 B(Sec.) 34	17 B(Sec.) 34 A
17 B(Sec.) 35	17 B(Sec.) 36	20(Sec.) 121
37(Sec.) 11	15(Sec.) 30	15(Sec.) 31
15(Sec.) 32	15(Sec.) 33	

(3) 回答案作成に関連して、つぎが相談された。

○標準委へ審議を依頼する場合は回答期日と回答責任者が明確になるよう依頼し、常置委員長あてに copy を送付することとした。

○機器常置委員会関係の各委員会の再整備を考慮する。

6. 報告

(1) IEC 前会長 Qsborne 氏が来日するので、9月22日に講演会およびティーパーティーを開催する。

(2) Dow Corning 社 Dexter 氏および G.E. 社 Mathes 氏が IEC/TC 15 出席の途次来日されるので、10月22日「絶縁材料の耐熱性」に関する座談会を開催することとなった。

#### 最大需用電力計標準特別委員会設置趣意書

最大需用電力計は大口電力需給上重要な役割をなすものであるが、現行 15 分需用時限最大需用電力計規格〔JEC-136(1956)〕は、つぎの理由により早急に全面改正を行なう必要を生じてきたため、標記委員会を設置して原案の調査作成を行なうこととした。

1. 通商産業省において先般電気料金制度調査会の答申に基づいて、つぎの料金改訂の際を機会に、需用時限を「15 分」から「30 分」に改正させる方針を定めた趣であるから、現行の「15 分需用時限」に製造された規格は適用できなくなるので、至急これを「30 分需用時限」にも適用できるものに改める必要が起きたこと

2. 最近の製造技術の進歩により、多推進子形・累算形・印字形・記録形など各種新機軸の計器が出現したこと。

電気用語標準特別委員会(9月27日)

○磁気増幅器専門委から磁気増幅器用語案の進捗状況についての報告があった。

○前回摘出された増幅発電機用語案の問題点について、堀井委員より直流機専門委の意向が報告され、それに関して審議が行われた。

○半導体用語、全橋整流器用語、JEC 半導体用語の間で調整を要する点(同義異語など)を検討した(幹事提出)。

○半導体用語の ABCD 格付け、給電用語および放射線関係用語の取り扱いにつき、今後の方針を決定した。

○JEC 関係用語案について、今後の取り扱い方針を確認した。

同期機標準特別委員会(9月19日)

○JEC-114 改訂に関する審議

(i) 自励交流発電機の定格出力として、励磁に要する電力を含めたものをいうか、含めないもの(負荷または系統に供給しうる正味の電力)をいうかが再び問題となり、再検討することにした。

(ii) 水車発電機の過速度試験は総合無拘束速度で行なうこととなっているが、これに対する水車標準特別委の要望を検討の結果、受け入れることとし、「工場における無拘束速度試験は便宜上水車の無拘束速度の保証値で行なうのがふつうである」の説明を付加することに決定した。

水車標準特別委員会(9月19日)

○規格改訂案に対する意見の取りまとめを行ない、本日をもって改訂案の審議を終り、規格委員会に報告することとなった。

○次回より水車の試験方法の審議を行なうこととした。

計器用変成器標準特別委員会(9月15日)

○モールド形 CT, PT の使用と試験

この問題について行なったアンケートの再集計結果の説明があり、これについて(1)モールド形の試験法が各社まちまちであるが、これを統一して研究を行なった方が効果がある。(2)試験法については統一した推奨案のようなものをつくりたい。(3)モールド形の CT, PT は取付け後 2~3 年できれつが発生するようである。などの討論があり、次回により多くの資料を提出して討論することになった。

○CT の過電流強度について

CT の過電流強度の規定について倍数でなく電流値で規定したいという意見があり、これについて(1)電流値で規定すると強度 1,000 倍のものも必要となる。また、(2)受注のたび設計が必要となる機械的強度と熱的強度を分離して規定することも考えている。などの討論があり、問題を次回にもちこすことになった。





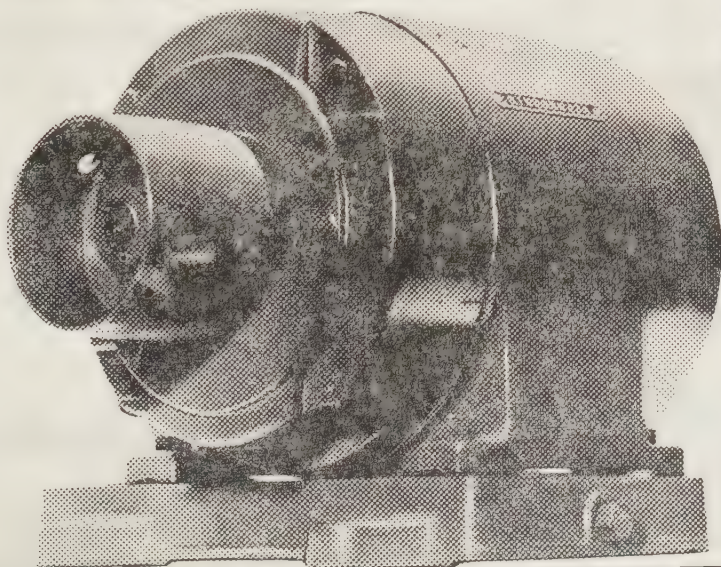
信 頼 の お け る 製 品  
 タ カ サ ゴ の 巻 鉄 心  
 カ ッ ト コ ア



高砂鉄工株式会社

本 社 東京都港区芝虎ノ門3番地  
 電 話 東京 (591) 代表 6186

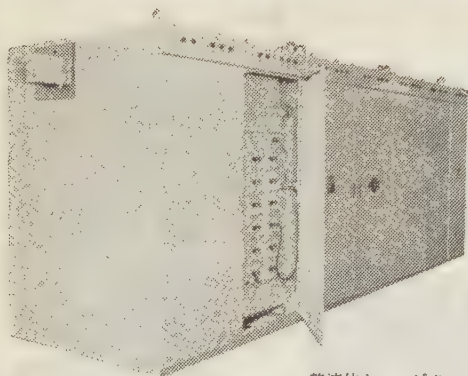
グンと進んだ新型モートル!



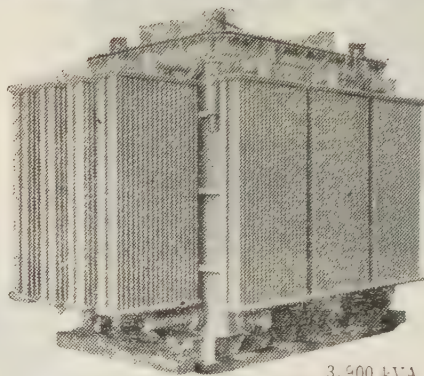
- 全合成樹脂絶縁方式  
日本では初めて、しかも熱に一段と強く、湿気にも耐え寿命は半永久的。
- 特殊な広巾シールドベアリング  
ゴミの侵入と、グリースの洩れをふせぎ、長期間運転できる。
- 国際規格の新型  
さらに小型で軽く、取り付けに互換性がある、とても便利。

松下電器産業株式会社

# KYOSAN 電解用シリコン整流装置



整流体キュービクル



3,900 kVA 3φ  
6 C形主可飽和リアクトル

日本曹達株式会社社会津工場納入 3,375 kW 225 V 15 kA  
電解用自動定電流シリコン整流装置

本整流装置は世界最大の超大容量可飽和リアクトルを具備した全磁気増巾式電解用定電流シリコン整流装置で、応答速度はやく、遠隔監視制御により無人運転方式を採用し、整流体キュービクルはトレー方式を採用しているため、万一ヒューズ熔断または整流体に部分的故障が発生しても全負荷運転中にそのまま予備品の交換が可能になっております。



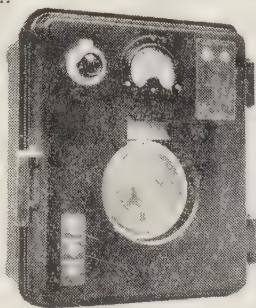
株式  
会社

京三製作所

営業部 東京都中央区銀座西1の1 Tel (561) 8361 (代)  
本社及工場 横浜市鶴見区平安町2の131 Tel (5) 6591 (代)  
本社及出張所 大 阪・名 古 屋・福 岡

## 千野の

## 電位差計式 自動温度調節計



○型 式：175

○测温範囲：0 ~ 1,600℃

○対時昇降機構付

5℃ ~ 500℃ (20段階)

○電気炉、加熱炉、熔融炉、コークス炉等  
各種の温度制御に最適です。

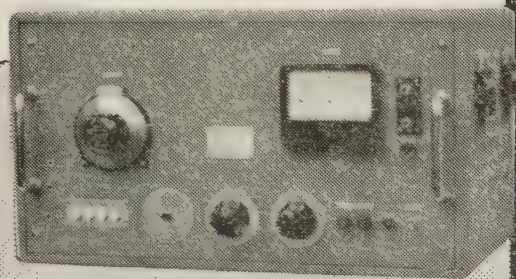


株式会社 千野製作所

東京都板橋区熊野町 32 電(961)5285(代)~9  
出張所：小倉市大坂町 1~11 電(5)4250



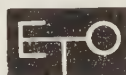
# 半導体研究に 高圧低周波発振器



## 仕 様

周波数—10~1,200 c/s  
正弦波—1,000 V  
矩型波—PP—1,000 V  
S/N比—60 db  
負荷インピーダンス 31 kΩ 以上

A→D変換に } デジタル  
アナコンに } ボルトメーター  
直流微小電圧計



## 江 藤 電 気 株 式 会 社

東京都世田谷区祖師谷2-841 電 話 (416) 0408

# 最高の技術で…… 優れた経済性の……



3222号

- リン青銅
- 洋 白
- ベリリウム銅
- モネルメタル

## 佐藤金属工業株式会社

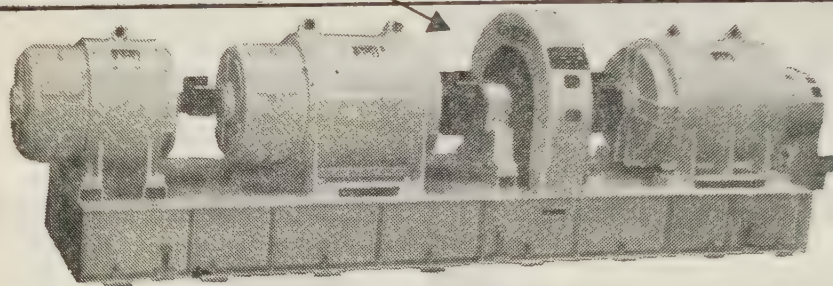
本 社 東京都港区芝浜松町3丁目5 TEL. 芝(431)7166(代表)  
工 場 浦 和 市 白 幡 966 TEL. 浦和2611・3162



**Densoi の  
主要製品**

電話用電源装置 自動電圧調整器  
予備電源装置 デンセイ送風機  
無停電電源装置 デンセイシンクロ電機  
定周波定電圧電源装置 デンセイ家庭電器品

最も多く使われている電子計算機用クレーマ定周波電源



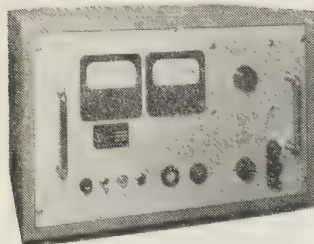
# 日本電氣精器株式会社

本社及向島事業所 東京都墨田区寺島町3-39 TEL. (611) 4111~9 / 大宮営業所 大宮市北区伊勢町3-4 (日清ビル)  
名古屋営業所 名古屋市中区久屋町5-9 (住友商事ビル) / 札幌営業所 札幌市北八条西1-1 / 福岡営業所 福岡市天神町58 (天神ビル)

## オールトランジスタ 安定化低圧直流電源

### 新製品

TP 030-10型



PAT. PEND

この他製造中のものは次の通りです。  
掲載誌御記入の上カタログ御請求下さい。

入力電圧 AC 50~60 $\infty$  90~105 V  
出力電圧 DC 0~30 V 連続可変  
出力電流 最大連続負荷 10 A  
電圧変動 電源及び全負荷変動に対し 100 mV 以下  
リップル 5 mV 以下  
過電流安全装置付  
寸法・重量 520×340×360 41kg

型 式	出力電圧	出力電流
TP 025-5	0~25VDC	0~5 A
TPM 025-02	0~25VDC	0~200mA



## 株式会社高砂製作所

営業部 出崎市 子 662  
TEL (701) 4391  
(048) 3883  
(048) 4111



# クテリオン

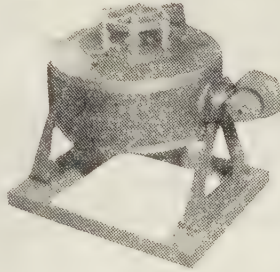
## V型振動試験機

### 用途

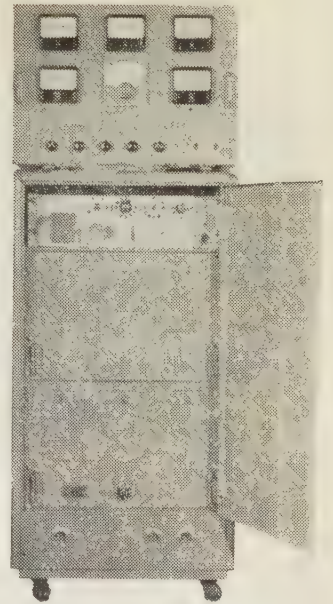
- ① 航空機、ロケット、自動車等の機体解析
- ② 電子機器および部品等の振動試験
- ③ 各種物体の共振周波数の測定
- ④ 各種物体の振動姿勢の測定
- ⑤ 各種物品、材料の疲労試験
- ⑥ ダンピング特性の測定
- ⑦ 構造物の振動試験
- ⑧ 液体の乳化、攪拌、混合
- ⑨ その他、各種の振動試験全般

### 特徴

- ① 振動数が広範囲に連続可変出来ます。
- ② 振幅を任意に調整出来ます。
- ③ 取扱が容易で可搬型ですので何処へでも移動出来ます。
- ④ オートサイクリングが可能です。
- ⑤ 騒音が有りませんので耳による不良箇所の摘出が出来ます。
- ⑥ MIL, NDS, JIS, の振動試験全部が可能であります。
- ⑦ 加速度、振幅、速度メーターで直読出来ます。
- ⑧ 記録された振動の復元試験が出来ます。
- ⑨ 共振機に比べ共振点の測定には最適です。



VB-10型



V-500型

## 帝 国 電 波 株 式 会 社

本 社  
廣 工 場

東京都文京区白山前町44  
埼玉県藤市上町4-3311

TEL (921) 8145 (代) - 9  
TEL (0889) 4 5 7 6 代

## FM型サーキット・ブレーカー



600 A

400 A

225 A

100 A

50 A

30 A

完全電磁式  
ノーヒューズ  
ブレーカー

フレーム:  
30 A ~ 600 A

### 特 長

- (1) 電路の安全確実な保護
- (2) 周囲温度の影響を受けません
- (3) 定格電流値が自由に選定できます
- (4) 即時再投入が可能です
- (5) 特殊な動作特性が製作できます

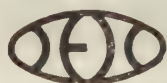
● 遮断容量 2,500A より  
30,000A まで

カタログ進呈

株式会社  
日幸電機製作所

東京都世田谷区玉川奥沢町1-285

電話 (721) 6191 ~ 5・3313



UF-1 型

ハイパス、ローパス、バンドパスで使える

# JEIC 万能フィルター

日本電子測器株式会社

東京都中央区月島西仲通10ノ7 電話東京(531)0101(代)

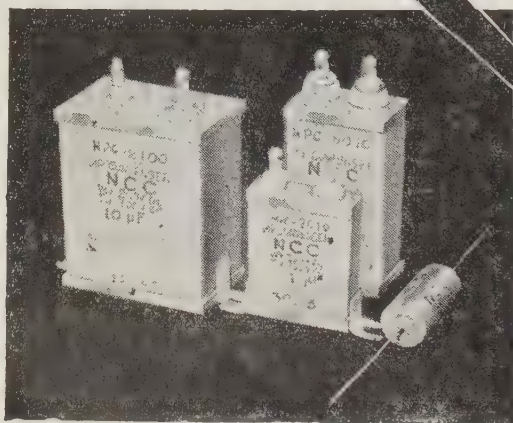
## 特徴・性能

- カットオフ周波数は $\frac{1}{2}$ オクターブ毎にHP 36点、LP 36点が独立して切換えられる。
- 入力インピーダンスが高く整合を要しない。2M $\Omega$ 不平衡。
- CR方式のため周波数範囲が広くカットオフ周波数を切換えても特性が変化しない。 $15 \sim 10,000 \%$
- 遮断特性とSN比がよい。40dB/oct, 80dB
- HP、LPを分離して歪率を測定できる。
- 小型、軽量。410 $\times$ 250 $\times$ 250 mm 13 kg

# NCC

エレクトロニクス・オートメーション用

## 高信頼度・高性能の NCCコンデンサ



(カタログ贈呈)

- NCC MP コンデンサー  
.01  $\mu$ F-100  $\mu$ F 150-700 V
- NCCPH オイルチューブラー  
.001-0.5  $\mu$ F 400 V -10 KVDC
- NCC シルバード マイカドン  
IPF-0.01  $\mu$ F 1000 TVDC

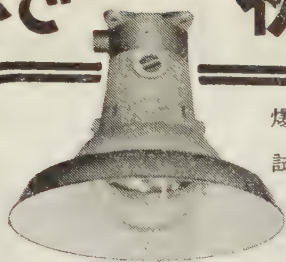
NCC JIS 表示許可工場

## 松尾電機株式会社

本社 大阪府豊中市洲野止124  
電話 大阪(39)0828・0829  
東京営業所 東京都千代田区神田淡路町2の6  
電話 東京(291)4448~9



# 日本で初めての



耐圧防爆形200W直付灯

爆発強度試験と爆発引火  
試験で保証する

## 耐圧防爆形



耐圧防爆形12回路電灯分電盤

白金式

## 耐圧防爆形照明

白金式防爆形主要製品  
照明器具（パイプ吊、ブラケット、直灯）  
ハンドランプ、投光器、探見灯、コンセンド  
並に 点滅器、電灯分電盤（2～20回路）  
刃型開閉器（30, 60, 150, 200, 300A）  
ジャンクションボックス、ジョイントボッ  
クス、プルボックス、シーリングフィッ  
ティング、ユニオンエルボー、コムパウンド

並に

## 防爆形配線装置



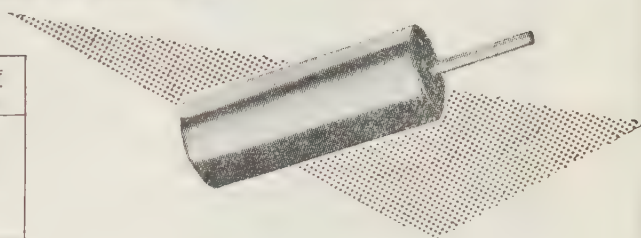
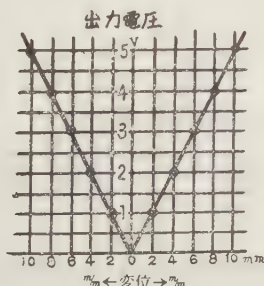
白金式 伊東電機株式会社

本社並に 東京都港区芝三田四国町16  
防爆研究所 電話 (451) 代 4191～4番  
工場 東京都港区芝三田四国町2の4

# 差動変圧器

型 名	直線範囲 mm	周 波 数 cps	感 度 V/mm
LT-1	± 4	50～3000	0.35
LT-2	± 8	50～3000	0.50
LT-3	± 14	50～3000	0.50
LT-4	± 20	50～3000	0.40

御希望による特殊製作も致して居ります



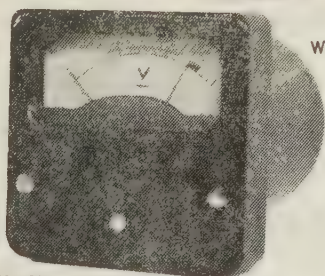
小型軽量、耐久性に富む広範囲の負荷抵  
抗に必ず可動部の変位と出力電圧は精密に  
比例し広範囲に亘り連続測定が可能です。



**リニアトランス研究所**

布施市高井田中1の40 TEL (781) 1609

# 小型メーターリレー



WR-65N型

60×60×80



WO-3型



WO-5型

40×50

25×40

**原 理** メーターリレーは可動コイル型の計器リレーで直流の電圧電流で動作させる外整流器と組合せ交流で熱電対と組合せ高周波で光電池と組合せ光で動作できます。

**用 途** 真空管回路の保護、電源電圧の自動調節、温度、回転数、過負荷、周波数制御の外火災警報、機器絶縁異常警報、その他広く使用できます。



## 渡辺電機工業株式会社

東京都渋谷区神宮通二ノ三六番地  
電 話 青 山 (401) 2 2 8 1 ・ 6 1 4 1 ~ 4

# NEC シリコン整流器



品名	最大 定格 尖頭逆方 向 電 圧	動作電圧 (実効値)	直流逆方 向 電 圧	平均 整 流 電 流		サ ー ジ 電 流	周 围 温 度
				(Ta=25℃)	Ta=100℃		
SD32A	50 V	35 V	50 V	750mA	400mA	15 A	-65~ + 150℃
SD32B	100	70	100	750	400	15	-65~ + 150
SD32C	200	140	200	750	400	15	-65~ + 150
SD32D	300	210	300	750	400	15	-65~ + 150
SD32E	400	280	400	750	400	15	-65~ + 150
SD32F	500	350	500	750	400	15	-65~ + 150
SD32G	600	420	600	750	400	15	-65~ + 150

弊社製品目

T V ・ ラジオ共聴用増巾器  
特殊用途 測定器・電源各種  
通信機器・放送機・音響機器

日本電気株式会社特約店  
**株式会社 萩原電気工業社**

名古屋市中村区南祢宜町42番地  
電 話 (54) 6 5 8 7 ・ 6 9 0 7 番



## サーミスタ

温度測定、温度制御、トランジスタ  
温度補償、超高周波電力測定、発振  
器振巾安定、通信回路自動利得調整、  
継電器動作遅延、サージ電流抑制用  
その他

最も安定度の高い 石塚電子の半導体製品

## 火花消去に シリスター (SiCバリスター)

(カタログ進呈)



火花消去、サージ電圧抑制、  
定電圧用 その他

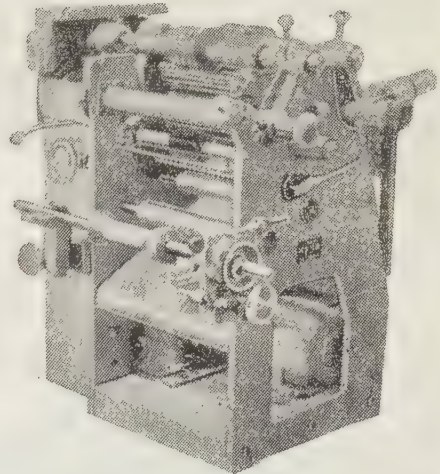


## 石塚電子株式会社

東京都江戸川区中葛西2の2916 電話 東京 江戸川(681) 1633番

# S スリッター

アルミ箔、コンデンサーペー  
パー、スチロール、マイラー  
等を所定の巾に切断し捲取る  
もので、最大巾 300mmの資料  
から最小巾5mm迄切断できる。  
従来の機械を改造し、一新し  
た新鋭機である。



株式 明製作所  
会社

本 社・東京都品川区大井町2 (491) 9125-9  
大阪出張所・大阪市北区堂島上2の39毎日産業ビル (34) 6540



新製品・タンタル固体電解コンデンサ

SOLPET



小サクテ品質ノヨイ

電 解 コンデンサ  
タルタン コンデンサ  
油 入 コンデンサ  
M P コンデンサ



東京電器株式会社

東京営業所 東京都中央区日本橋本町4〜9 TEL (201) 9494

大阪営業所 大阪市北区絹笠町50 TEL (34) 8720



科学冶金

日・英・米 製法特許

アイポン

鉄系含油軸受

エタマ

電気接点

スパーマ

金属黒鉛刷子

銀・タングステン・カーバイト  
銀・タングステン  
銅・タングステン  
銀・ニッケル  
銀・酸化カドミウム  
銀・グラファイト  
銀・銅グラファイト  
各種銀接点

日本科学冶金株式会社

本社 大阪市城東区古市南通1-34  
研究所 電話 (33) 6565・6566  
第二工場 大阪市城東区古市南通2-1  
第三工場 大阪市城東区古市南通2-9

最大の生産と最高の品質管理を誇る



JIS表示許可  
防衛庁認定工場

# 日本抵抗器

カタログ進呈



株式会社 日本抵抗器製作所

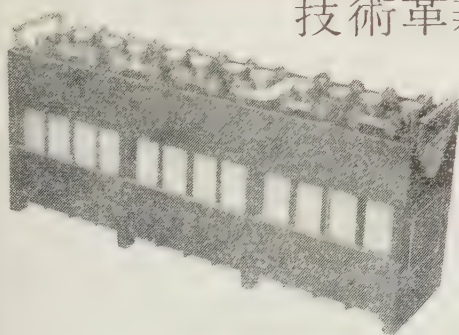
東京都品川区大井町2-23-8 電(781) 9450・4211  
8554・8534  
大阪市大東区南浜町2の2-6 電(37) 6750 (代)

## 本多アルカリ蓄電池

技術革新の時代にふさわしい!

本多アルカリ蓄電池は次の様な特徴を備えております

- ★小型軽量で容量が大きい。
- ★過充放電に耐え、取扱いが簡単で長寿命である。
- ★サルフェーションや極板の脱落が無く機械的にも強度が大きい。



- 通産省 応用研究補助金受領
- 通産省 工業化試験補助金受領
- 東京 通産局長賞受賞  
(於 第二回日本工業技術展)

## ●本多セレクト整流器

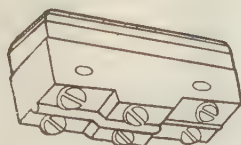
本多電機株式会社

本社 東京都品川区上大崎4丁目190番地 電話大崎 (491) 3207, 6370, 6572  
東京営業所 東京都千代田区丸の内2丁目(丸ビル328区) 電話和田倉 (201) 5635・5636  
九州支店 福岡県飯塚市新飯塚本通4丁目 電話飯塚 385・1033  
札幌営業所 札幌市北三条 東八丁目 電話 札幌 (3) 4711



世界に燦然たり……

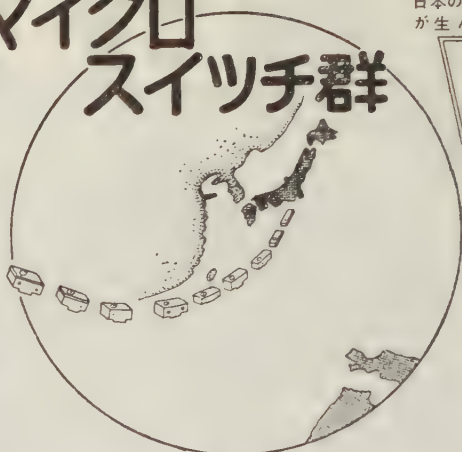
1960



# 2極マイクロスイッチ群

日本の技術  
が生んだ

革新



## 特徴と性能

この二極マイクロスイッチは本邦に於いては勿論、又その品種に於いては従来の単極の基本型と同一に絶ゆる品種が完成致しましたことは世界でも最初の画期的なものです。この成功の理由は本器が応差の動き(M. D.)に於いて外国品の欠陥(応差の動きが大きいこと、これは二極マイクロスイッチが海外に於いても、国内に於いても普及されない理由の一つと考えられます)を完全に除去したことです。これは正しくマイクロスイッチの革命、新分野への黎明とまで云われる理由です。そして更らに特徴は次の如く追加されるのです。

- |                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| (1) 外寸、取付位置は単極基本型と同一                 | 耐 圧 1000V. A. C. 一分間     |
| (2) 機械的寿命は50万回以上、接点間隔は従来の単極品より広い     | 絶縁抵抗 500V. 1000MΩ以上      |
| (3) 動作力、応差の動きも単極型と同一                 | 動作に必要な力 (O. F.) 300~450g |
| (4) 単極品を2ヶ並べて使用すると違いスイッチの投入、切断は2回路同時 | 動作迄の動き (P. T.) 0.5MAX    |
| (5) 規格                               | 動作後の動き (O. T.) 9.13MIN.  |
|                                      | 戻りの力 (R. F.) 114g MIN.   |
|                                      | 応差の動き (M. D.) 0.01±0.15  |

電流量 125・250V. 10A. A. C.



日本開閉器工業株式会社

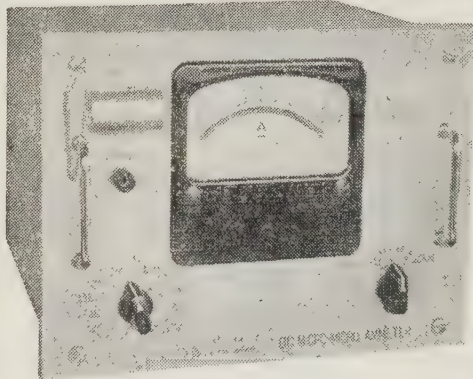
東京都大田区馬込東3-644

TEL 東京(771) 8841~2・8379

## 誘導に強い! 大倉の微小電圧(電流)計

0.5μV, 10<sup>-11</sup>A迄安定に測定出来ます。

(特許 181159)  
185424)



微小直流電圧(電流)計

(目盛)

- |   |         |
|---|---------|
| 0~50μV乃至0~2000μV                                | 6Vレンジ切替 |
| 0±25μV乃至0±1000μV                                | 〃       |
| 0~1×10 <sup>-9</sup> A乃至0~2×10 <sup>-6</sup> A  | 11レンジ切替 |
| 0±5×10 <sup>-10</sup> A乃至0×1×10 <sup>-6</sup> A | 〃       |

(用途)

熱電対の較正、熱電耐電圧示差熱光電管電流、イオン化電流の測定及び電位差計ホイートストンブリッジの検電器として使用出来ます。

(誌名記入申込にカタログ進呈)

(営業品目)

L・C・Rチェッカー 周波計 セルメーター電子管  
式記録計 テレメーター装置各種工業用計器

米国swartwout社

と技術提携



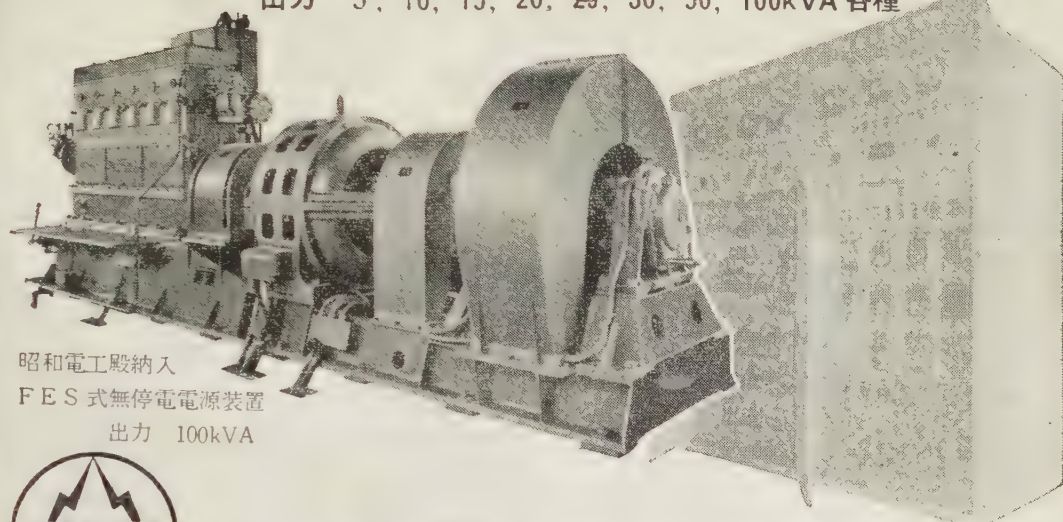
大倉電気株式會社

本 社 東京都杉並区西田町2丁目407番地 電 話 (398) 5111 (代表)  
大阪出張所 大阪市北区芝田町112 井上ビル24号室 電話 (36) 5791-5, 5891-5 (交換)  
小倉出張所 小倉市博労町63富士ビル44号室 電 話 小 倉 (5) 8621



# 交流無停電電源装置

出力 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100kVA 各種



昭和電工殿納入

FES 式無停電電源装置

出力 100kVA



## 山洋電気株式会社

東京都豊島区巣鴨 6 / 1349

電話 東京 982 局 5151 ~ 9

工場・東京・上田

# ハイカーコルク



変圧器及

油入遮断器用

パッキング

(型録贈呈)

創業明治 29 年

JIS 表示工場

No. 2948



## 永柳コルク工業株式会社

本社

東京都墨田区寺島町 4 丁目 25 番地 (東武線 曳船駅前)

電話 東京 (611) 代表 5111・5110-9



DOM 34 コンデンサー

SS 750 ノンローター

N-DY-1 電動発電機

## 高性能を誇る 各種回転機器

AM-301 コンデンサーモーター

電磁クラッチ

FA7 電動発電機

206 C ミニチュアモーター

# 新中央工業株式会社

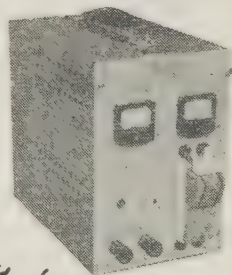
東京都大田区大森5丁目 232 番地 電話 (761) 9125~9

## 高精度・長寿命 ストロボスコープ



超高速度用  
10,000~750,000r.p.m.  
強力用  
強輝度クセノン管使用  
高精度用 0.1%  
一般用 300~17,000r.p.m.

M-3A型(一般用) 50000 A.T  
M-5A型(水冷式)超多量生産用  
MC-3A型(一般用) 500 W.S.  
MC-5A型(多量生産用) 1.2 KW.S.



安く強力な

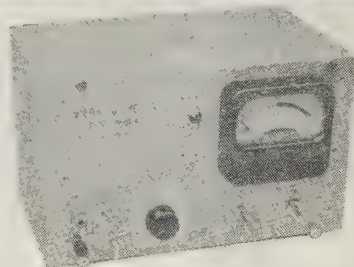
## マグネットチャージャー

凡ゆる振動の測定に

## 高感度振動計



チタン酸バリウムピックアップ型  
可動線輪ピックアップ型



代理店

株式  
会社

菅原研究所

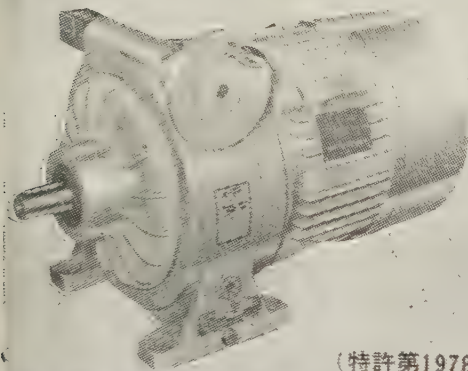
日本電計株式会社

東京都千代田区神田須田町1-28 TEL (291) 5111(代)~5



能率を倍加し合理化に寄与する

東芝モーター使用



(特許第197897号)

# Kopp 無段変速機

本機は旭大隈工業(株)がスイス人、KOPP氏との技術提携による新製品で次の特長を有して居ります。

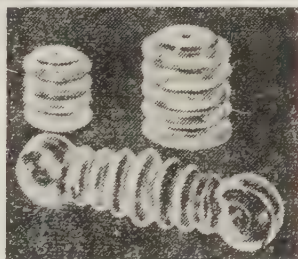
- (1) 鋼球利用のボールベアリング状無段変速機なれば任意の微量調整が可能です。
- (2) 小形軽量にして騒音や振動なく優秀なる精度を持ち耐久力も永続的であります。
- (3) 変速範囲が1:9と広く馬力はコンスタントであります。
- (4) サイズは0.2KW(1/4HP)より11KW(15HP)迄で単体(F型)及電動機付き(M型)の22種類を用意して居ります。

在庫豊富

株式会社

電巧社

東京都港区芝新堀町 8 番地  
電話 三田 (451) 4111-5・9661-3



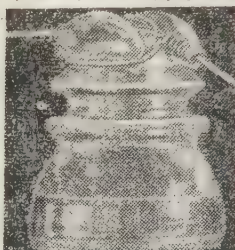
高周波絶縁碍子

# ボンレックス

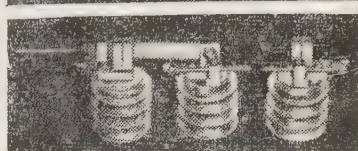
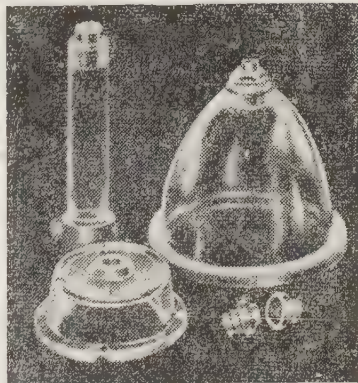
アメリカ無線界ではパイレックスを

日本ではボンレックスの御使用を

ボンレックスの用途 無線 有線電気通信機器用 原子力平和利用 各種機器碍子



最近欧米各国で電話通信線用に使用されている高周波絶縁碍子



株式会社

ボン碍子製作所

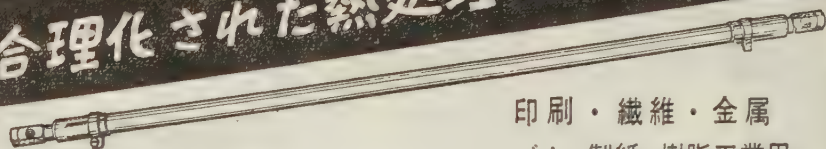
カタログ  
定価表呈

東京都千代田区神田松永町 1 9 番地松永ビル TEL (251) 8894 番





最も合理化された熱処理



印刷・繊維・金属  
ゴム・製紙・樹脂工業用

# 遠赤外線ヒーター 乾燥器・自動制御装置

赤外線・熱風乾燥装置  
各種コンベアー・配電盤  
各種ヒーター・計器類



遠赤外線焼付炉

永進電気株式会社

代理店 都福株式会社 大阪営業所

代理店 東京材料株式会社

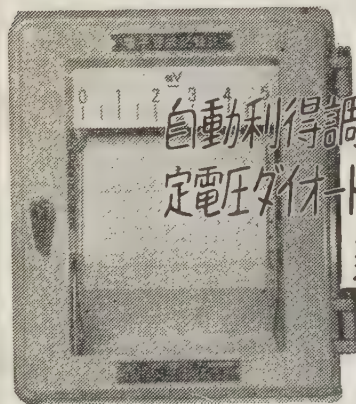
東京都品川区北品川5-457

電話東京 441局 7223 (代表)

大阪市北区老松町1の17大建ビル TEL (34) 6384

東京都中央区銀座東5-2 TEL (541) 5301 (代)

## MK型 電子管式記録計



自動利得調整回路と  
定電圧ダイオードを利用した  
新製品

製造品目 光示式計器・検流計  
直流電位差計・直線オーム計・他

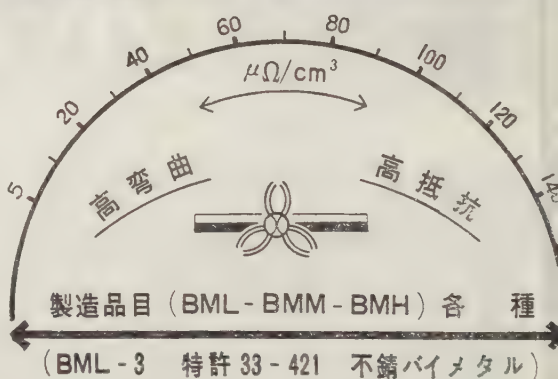


有限 村山電機製作所

東京都目黒区中目黒3-1163

目黒 (712) 0076, 0077

## 新バイメタル BKR 発売



## 神岡金属工業株式会社

本社 京都市左京区吉田神楽岡町8 TEL (7) 2751・6408

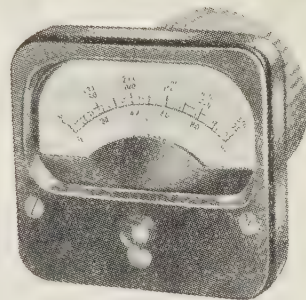
工場 京都市左京区静海市原町661 TEL (78) 0620

# 無接点

# H型メーターリレー

(高周波式指示継電器) PAT. P32-40815

1. 微小電圧、微小電流により  
自動制御及び信号が得られる
2. 接点を使用しないため  
接触不良による誤動作がない。  
設定点によるリレー動作と無関係にも指示が  
設定点を通過して得られる
3. 同じ目盛上に  
指示と制御点の設定が得られる。
4. 制御点の設定は  
表面のつまみにより、簡単に任意設定できる。
5. 機器への取付けは  
普通のパネル型計器と同等であり小型である。



型式 ER-35 S 11

日本工業規格表示工場

株式会社

日本計器製作所

東京都大田区調布千鳥町100 電話(751)3570・7231・4801

営業品目

携帯用各種指示電気計器  
配電盤用各種電気計器  
メーターリレー・温度計  
各種抵抗計・摺動抵抗器  
各種電気計測器

スターライト



ALP

## ふつ素樹脂製品

ポリ4ふつ化エチレン

- ▶ 棒 管 円筒 板 テープ
- ▶ 軸受 パッキング ピストンリング
- ▶ 絶縁・耐食・耐熱・耐寒・非粘着性
- ▶ 電気・機械・化学あらゆる工業材料

## スターライト工業株式会社

本社 大阪市大淀区天神橋筋六の五(天六阪急ビル) 電話 大阪 (35) 5736・8102・7071  
東京支店 東京都中央区八重洲一の三(呉服橋三和ビル) 電話 東京 (271) 5501代表  
製造所 大阪市城東区茨田徳庵町一七〇八 電話 大阪 (33) 9031代表



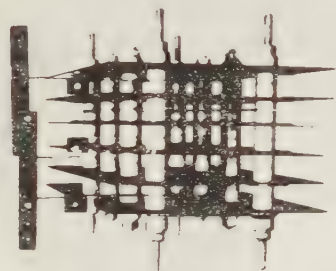




# スタンレー セレン/シリコン整流器

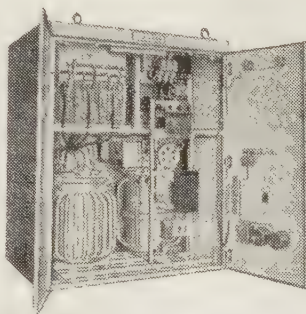
STANLEY

## \* A形セレン整流板は



- 逆電流が驚くほど少なく安定しており
- 正抵抗も極めて少なく
- 3年間放置しても異状がない(各種試験のデータ集を送付します)

## \* シリコン整流素子は



- 信頼のおける日立の製品で
- 効率が高いので電力料金が安く
- 高温によく耐え寿命が長い

動力用  
D.C 110V 273A

..... カタログ呈 東京都目黒区中目黒2-605スタンレー電気KK宣伝課231係宛



# 鑄鍛鋼

普通鋼  
特殊鋼  
高マンガン鋼  
迅速納入

## 日本鑄鋼株式會社

取締役社長 馬場幸一郎

東京都江東区大島町7の650

電話 城東 (681) 9131-9135

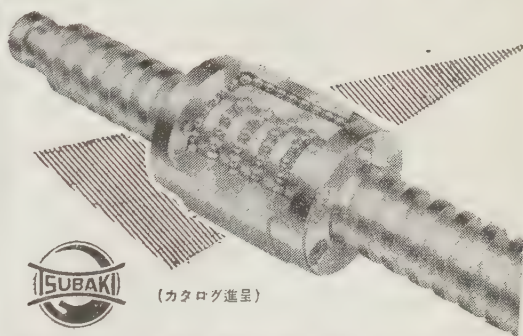
出張所 電話 銀座 (571) 1818

## ねじの革命!!

## ツバキの

# ボールねじ

特許番号 252497



(カタログ進呈)

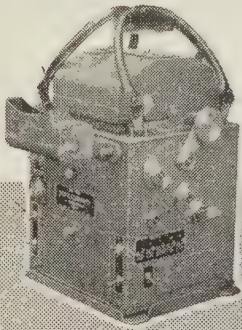
## 椿本鋼球製造株式会社

本社・工場 奈良県北葛城郡当麻村尺土1-9 電代表 大和高田2742  
大阪営業所 大阪市北区南堀町5椿本ビル内 電大阪(36)3828・3605  
東京営業所 東京都台東区浅草七軒町2 電東京(841)4828  
名古屋出張所 名古屋市中区古沢町5の28(朝岡ビル) 電名古屋(32)6709

販売代理店 椿本興業株式會社

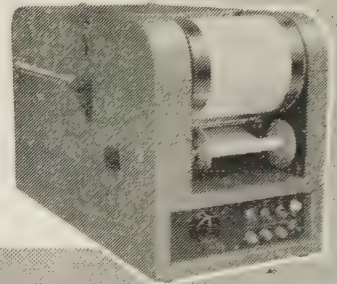


# 共和の電磁オシログラフとオシログラム自動現像機



## 営業品目

抵抗線歪計器  
抵抗線歪測定器  
抵抗線式トルクメーター  
圧力計、荷重計、変換器等器  
加速度計、馬力計等器  
カールソン型計器  
電子管式自動平衡計器



### MA型電磁オシログラフ

1. 電源は交流、直流共に使用可能
2. 暗室不要で白昼連続撮影可能
3. C、F型は、ガルバ系統が高電圧(3000V 1分間)に耐える

### OD型オシログラム自動現像機

1. 小型で取扱が簡便かつ暗室不要
2. 現像むらのない均一な調子に仕上がる
3. 現像後データの長期保存にも水害不要



## 共和無線研究所

本社 東京都港区芝西久保明舟町19 電話東京(501)代表2444番  
大阪出張所 大阪市北区宗是町10(中之島ビル内) 電話土佐堀(44)0058・0059番  
名古屋出張所 名古屋市中区岩井通り4の3(マスマビル内) 電話南(32)2596~8番  
福岡出張所 福岡市官内町25(官内ビル) 電話福岡(3)5565・6390番

# NICUM

## 電気機器 真空 (ワニス)

## の絶縁を完全にする 乾燥・含浸装置 ・コンパウンド含浸装置)

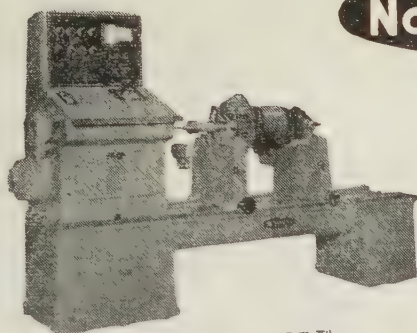
主なる 愛知電機・中国電力・安川電機  
納入先 沖電機・三菱電機・北辰電機・住友機械  
東洋レーヨン・オリヂン電機・三洋電機

## 日空工業株式会社

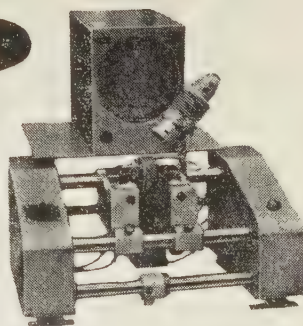
本社 大阪市西区江戸堀南通3の18 電話土佐堀(44)181, 9512~4  
東京出張所 東京都台東区二長町1(東神ビル) 電話下谷(831)2161(代表)



# Nagahama



ND-100E型



ND-1EG型

高感度フォトトランジスター方式

## ダイナミック バランシングマシン

汎用の標準型は勿論、あらゆる回転体の適当なバランス修正をなし得る様に極めて軽量なるローター専用のマイクロバランサーから大容量の大型バランサーに至るまで自動修正装置付専用機、高速型、特殊型、縦型等各種製作しております。

発売元 三菱商事株式会社



株式会社 長濱製作所

大阪府豊中市浜 323-2 (阪急宝塚線服部駅東 500 米)

電話 大阪 (39) 5561 (代表)

東京事務所 東京都港区芝南佐久間町 2 の 7 電話 東京 (591) 0645・4488

機械第三部 工場課 二課 電話 東京 2-0011 大阪支社機械部工作機械課 電話 27-2291  
名古屋支店機械第二課 電話 名古屋 27-2111 神戸支店機械部 西宮・三木・北神戸・長野・広畑  
岡山・倉敷・徳山・宇部・高松・四日市・富山・静岡・新潟・仙台・室蘭・英の他



### 新製品!

### 実験室・研究室に最適!

電子管式記録計

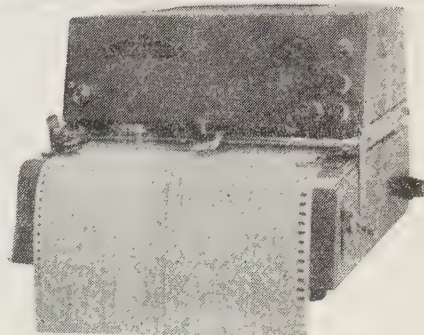
## バリコーダ VR-100型

特 長

- 入力抵抗が大きい
- 零点調整全域
- 追従速度が速い
- 制動状態調整可能
- 送り速度 3 段切替式
- 小型・軽量・安価

◀ 営業品目 ▶

交直流定電圧装置	TV 用各種測定装置
電子管応用計測機器	電子管式自動温度調節装置



本社・工場 京都市中京区西ノ京上合町 17  
電話 (84) 4396~4398 (82) 0395~0396

東京サービスステーション 東京都千代田区神田司町 2-15  
電話 (231) 2236

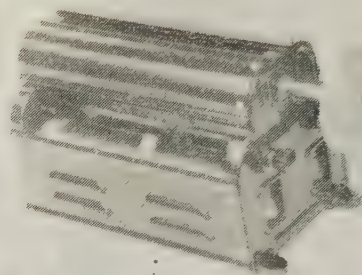
## 日本電気機材株式会社



# 摺動抵抗器

手動用・モーター駆動用

品質最高  
納期迅速!!



上記写真はモーター駆動用プーリーをつけたところ。  
このプーリーにハンドルをつけ、微細調節用とすることもできます。

カタログ贈呈

SS型単心摺動抵抗器 75種類  
DS型双心摺動抵抗器 90種類

東京精電株式会社

東京都港区芝南佐久間町1～5  
電話 (501) 9349, 9522

# シツキの寝産進相器



工業技術院長賞  
通産局長賞  
合理化モデル工場指定



高圧進相器	低圧進相器	蓄電池	無気線炉	ラジエーター	蛍光灯	科学機器	MPコンデンサー	其他各種蓄電器
用器	用器	用器	用器	用器	用器	用器	用器	用器

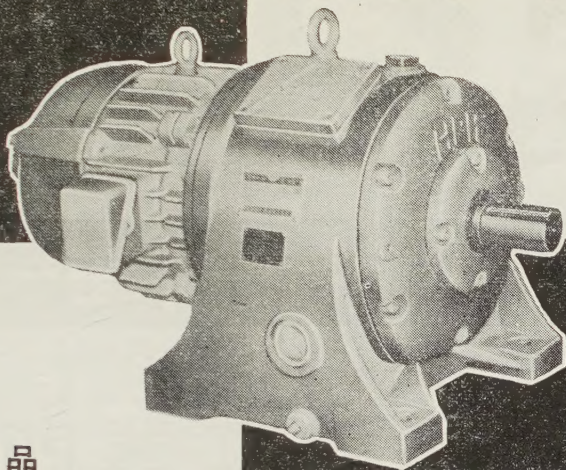
株式会社 指月電機製作所

本社工場 西宮市大社町一番地 電話西宮 (3) 5821～5 番  
東京製作所 東京都大田区新井宿七丁目一〇番地 電話大森 (761) 5770～2 番  
名古屋出張所 名古屋市中区東瓦町一三〇番地 電話名古屋 (24) 7645 番





あらゆる機械の動力源に  
**ハンシン ギャードモートル**



ギヤーセービング  
クラウニング加工

**主要製品**

減速機・増速機  
ギャードモーター  
モータープーリー  
パッドルホイール  
灰出装置

**阪神動力機械株式会社**

本社 大阪市此花区四貫島元宮町16  
電話 大阪(46)代表6551-6555  
東京営業所 東京都千代田区神田和泉町1  
電話 東京(866) 5759(851) 0386



**エバラ**

**発電用水車  
ポンプ・送風機**

流体機械専門

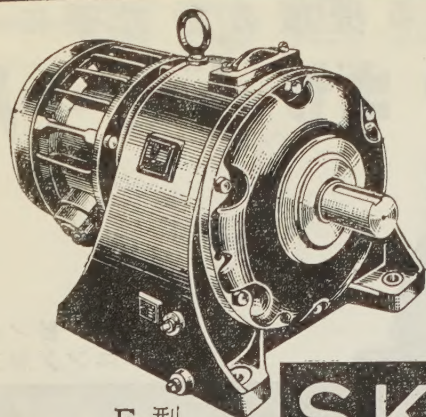
**荏原製作所**

秋田県田沢湖発電所  
7660KW 縦軸カプラン水車

本社  
営業所  
出張所

東京都大田区羽田旭町  
東京朝日新聞新館・大阪朝日ビル  
名古屋・福岡・札幌・仙台・広島・新潟





F 型

3

つの特徴

軽量 強力 低廉

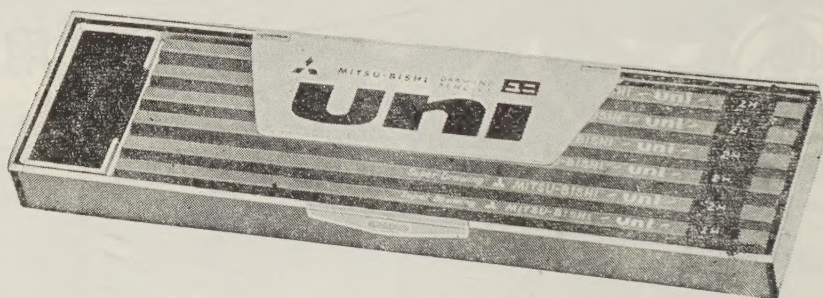
# SKKギヤードモートル

ギヤーシェーピング・クラウニング加工



株式 精機工業所

社長 龜山多通雄  
 尼崎 市 上 坂 部  
 電話 大阪 (48) 5921~7  
 支店 出張所 東京・福岡・札幌・名古屋



uni

ユニは三菱鉛筆の総力を挙げて完成した最高級の製図用鉛筆です。  
 ユニとは ONE の意味の英語で——現代に存在する唯一のもの——として敢  
 えて名付けました。

三菱鉛筆

本誌広告取扱店

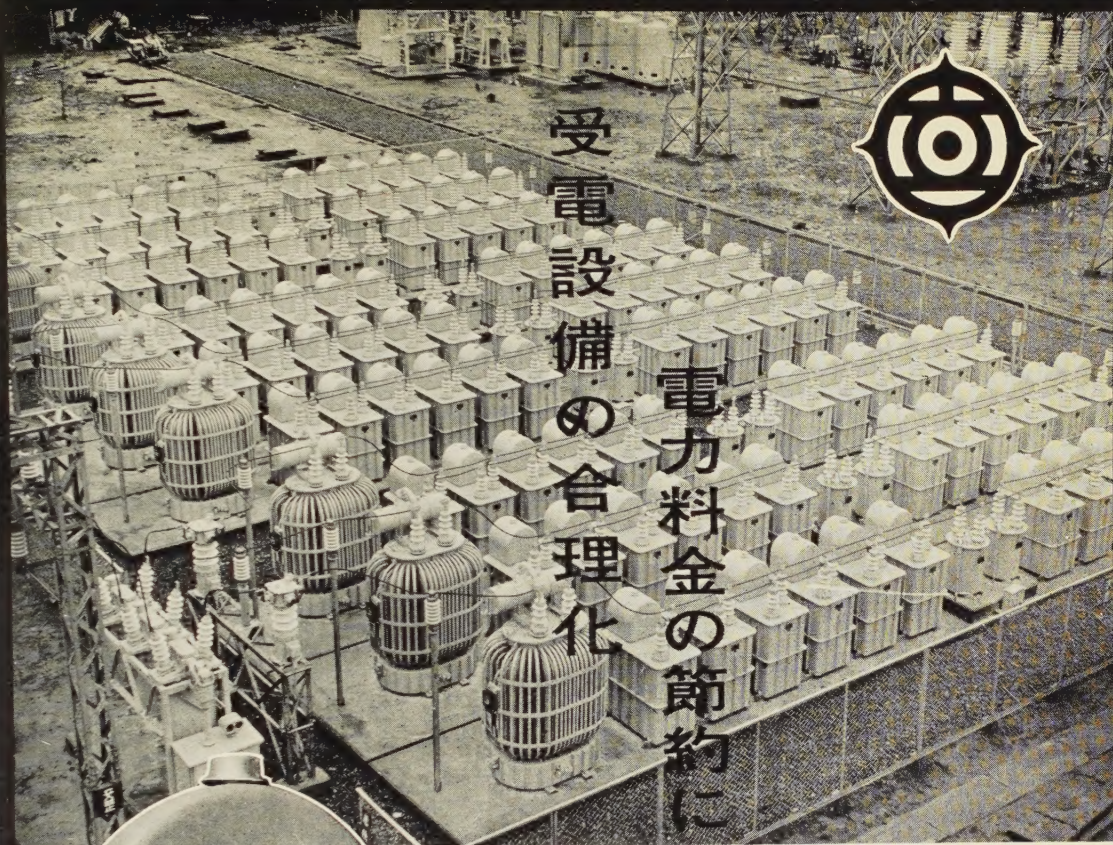
広

和

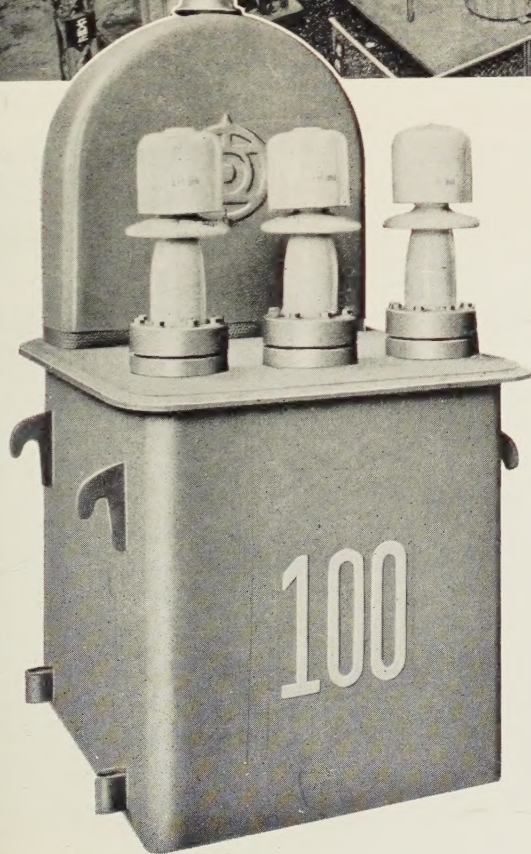
堂

東京都中央区銀座西8ノ3  
 小鍛冶ビル5階電話(571) 6836  
 8763





# 受電設備の合理化 電力料金の節約に



日立進相用コンデンサは、最新式の製造設備と永年の研究経験により製作されている高性能の製品で、次のような特長があります。

- コンデンサのクラフト紙および絶縁油は日立独特の特殊仕様によるものであります。
- 真空乾燥、油処理については最新式設備により完全な処置がなされています。
- 密封型全熔接のため油洩れがありません。

# 日立 進相用 コンデンサ



創業50周年 日立製作所



# デラックスな近代設備

東芝では、ビルディングの電気設備として、受変電設備、自家発電設備、蛍光灯照明設備、冷暖房、換気衛生設備用各種電動機をはじめ、音響機器、共同視聴設備、昇降設備、その他の機器に至るまで、総合受注の力を発揮して、豊かな生活のために貢献しています。最近の例として、東京日比谷三井ビルディングには、

受配電設備	総合中央監視盤
自家発電設備	各種動力設備
蛍光灯照明設備（光天井）	各種拡声装置
赤外線による車路警報装置	親子式電気時計装置
昇降設備	通信設備

など、近代的マンモスビルにふさわしい東芝最新の機器を納入し、デラックスなオフィス生活のために奉仕しています。

*Toshiba*

## 東芝

ビルディング  
電気設備

ロードセンタ

三井銀行営業室の光天井

監視制御盤

三相乾式変圧器

東京芝浦電気株式会社